

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения Российской академии наук (ИФХиБПП РАН)

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов Российской академии наук (ЦЭПЛ РАН)

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»

(МГУ имени М.В.Ломоносова), Факультет почвоведения

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

«РАЗНООБРАЗИЕ ЛЕСНЫХ ПОЧВ И БИОРАЗНООБРАЗИЕ ЛЕСОВ»

Сборник материалов

*V-ой Всероссийской научной конференции по лесному почвоведению
с международным участием*

памяти проф. Л.О.Карпачевского и проф. А.С.Владыченского

24—27 сентября 2013 г., г. Пущино (Московская обл.)

УДК: 631.4: 631.61

ISBN 978-5-904385-14-9

Печатается по рекомендации Ученого Совета Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физико-химических и биологических проблем почвоведения Российской академии наук (ИФХиБПП РАН)

РАЗНООБРАЗИЕ ЛЕСНЫХ ПОЧВ И БИОРАЗНООБРАЗИЕ ЛЕСОВ

Сборник материалов V-ой Всероссийской научной конференции по лесному почвоведению с международным участием / Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения Российской академии наук. — Пущино: ИФХиБПП РАН, 2013.

V-ая Всероссийская научная конференции по лесному почвоведению с международным участием «Разнообразие лесных почв и биоразнообразие лесов» (памяти проф. Л.О.Карпачевского и проф. А.С.Владыченского) посвящена вопросам функционального и генетического разнообразия лесных почв, роли биоты (растений, животных, микроорганизмов) в формировании этого разнообразия на разных уровнях организации лесного биогеоценотического покрова. В значительной части представленных докладов уделено внимание влиянию антропогенных факторов (рубки, пожары, техногенное загрязнение), климатических изменений, естественных нарушений (массовые вспышки численности насекомых, грибные болезни и др) на состояние, разнообразие и динамику лесов.

Сборник содержит 94 тезиса докладов, в которых обобщены знания, отражающие современные представления о характере взаимодействия различных компонентов лесных биогеоценозов. Во многих докладах затронуты актуальные методические вопросы изучения лесных почв. Материалы, представленные в сборнике, будут полезны широкому кругу специалистов в области почвоведения, лесоведения, геоботаники, почвенной микробиологии, экологии, биогеохимии, а также студентам ВУЗов и аспирантам, обучающимся по этим специальностям.

Редакционная группа: д.б.н., проф. Н.В. Лукина (ЦЭПЛ РАН), к.г.н., доц. И.В. Припутина (ИФХиБПП РАН), М.П. Шашков (ИФХиБПП РАН), Н.В. Иванова (ИМПБ РАН)

Конференция проведена при финансовой поддержке
Российского Фонда Фундаментальных Исследований **(РФФИ)**
грант № 13-04-06080-г

© ИФХиБПП РАН, 2013

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	9
Пленарные доклады	
ФОРМИРОВАНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПОЧВЫ В МНОГОЛЕТНЕМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ С ОСНОВНЫМИ ЛЕСООБРАЗУЮЩИМИ ВИДАМИ СИБИРИ <i>Ведрова Э.Ф., Шугалей Л.С.</i>	12
ЛЕСНЫЕ ПОЧВЫ В ПОЧВЕННЫХ КЛАССИФИКАЦИЯХ <i>Герасимова М.И.</i>	14
МИКРООРГАНИЗМЫ ЛЕСНЫХ ПОЧВ ЕСТЕСТВЕННЫХ И НАРУШЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ СЕВЕРНОЙ ФЕННОСКАНДИИ <i>Евдокимова Г.А.</i>	16
МОНИТОРИНГ ЭМИССИИ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА С ПОВЕРХНОСТИ ПОЧВЫ В ЮЖНОТАЕЖНОМ ЕЛЬНИКЕ (НОВГОРОДСКАЯ ОБЛАСТЬ) <i>Замолодчиков Д.Г., Карелин Д.В.</i>	18
РАЗВИТИЕ ПОЧВ И ЛЕСОВ <i>Лукина Н.В.</i>	20
ГИС-МОДЕЛЬ АНТРОПОГЕННОЙ ДИНАМИКИ <i>Рожков В.А., Ефремов Д.Ф., Исаев А.И., Седых В.Н., Соколов В.А., Швиденко А.З.</i>	22
Секция 1. Генетическое разнообразие лесных почв	
ЛЕСНЫЕ ПОЧВЫ САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ <i>Абакумов Е.В., Гагарина Э.И.</i>	26
ЦИФРОВАЯ ВЕРСИЯ ПОЧВЕННОЙ КАРТЫ КАРЕЛИИ МАСШТАБА 1:500 000 <i>Ахметова Г.В., Бахмет О.Н.</i>	27
О ГЕНЕТИЧЕСКИХ И КЛАССИФИКАЦИОННЫХ ВОПРОСАХ <i>Богатырев Л.Г., Малинина М.С., Телеснина В.М., Погожева Е.А., Самсонова В.П., Акишина М.М.</i>	29
МИКОГОРИЗОНТ В ПИХТОВО-ЕЛОВЫХ ЛЕСАХ НА ГОРНОМ ПЛАТО <i>Бутовец Г.Н., Гладкова Г.А.</i>	31
СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПОЧВЕННЫХ ОБРАЗЦОВ ПО АГРОХИМИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ В ДИНАМИКЕ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ В ВЫСОКОГОРНОЙ ЗОНЕ РЕСПУБЛИКИ ДАГЕСТАН <i>Гамзатова Х. М.</i>	33
ПОЧВЫ НА КАРБОНАТНЫХ ПОРОДАХ СЕВЕРНОГО УРАЛА <i>Жангуров Е.В., Дубровский Ю.А.</i>	34
ПОЧВЫ ВЕТЛЯНИКОВ НИЗОВЬЕВ ДЕЛЬТЫ ВОЛГИ <i>Жужнева И.В., Малов В.Г.</i>	36
ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕТРИТОПРОФИЛЕЙ ПОЧВ ЭКОСИСТЕМ ЮЖНОЙ ЧАСТИ ЯКУТИИ <i>Земсков Ф.И., Малинина М.С., Богатырев Л.Г.</i>	39
НЕОПОДЗОЛЕННЫЕ ЛЕСНЫЕ ПОЧВЫ СЕВЕРО-ВОСТОКА КОСТРОМСКОЙ ОБЛАСТИ <i>Иванов А.В.</i>	40
ЭНЗИМОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ БОЛОТНЫХ ПОЧВ <i>Инишева Л.И., Порохина Е.С., Головченко А.В., Ларина Г.В.</i>	40
КЛАССИФИКАЦИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ НАУЧНОГО АНАЛИЗА ЛЕСНЫХ ПОЧВ <i>Лысков И.А., Надпорожская М.А.</i>	42

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ДЕНСИМЕТРИЧЕСКОГО ФРАКЦИОНИРОВАНИЯ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА <i>Милановский Е.Ю., Дымов А.А., Холодов В.А., Федотов Г.Н.</i>	45
ПОЧВЫ ЛЕСНЫХ ОСТРОВКОВ БОЛЬШЕЗЕМЕЛЬСКОЙ ТУНДРЫ <i>Русанова Г.В., Денева С.В., Шахтарова О.В.</i>	47
ОСОБЕННОСТИ ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ И СВОЙСТВА ПОЧВ <i>Русанов А.М., Шеин Е.В.</i>	48
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ <i>Федорец Н.Г.</i>	51
РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЧЕРНОЗЕМОВ ПАХОТНОГО ПОЛЯ <i>Хайдапова Д.Д., Милановский Е.Ю., Честнова В.В.</i>	52
МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ СОСТАВ ИЛИСТОЙ ФРАКЦИИ ЛЕСНОЙ ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ НА МЕТАМОРФИЧЕСКИХ ПОРОДАХ ГОРНОГО МАССИВА ИРЕМЕЛЬ, ЮЖНЫЙ УРАЛ <i>Халитов Р.М., Сулейманов Р.Р., Абакумов Е.В., Перова Е.Н.</i>	54
ГЕНЕТИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ И ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ЧЕРТЫ ПОЧВ <i>Чиркова Е.Г., Козлова А.А.</i>	56
МИКРОМОЗАИЧНАЯ СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ТЕМНОХВОЙНЫХ ЛЕСОВ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ <i>Шлыкова Ю.С., Алейников А.А., Бовкунов А.Д., Семиколенных А.А.</i>	58
Секция 2. Биогенные и абиотические факторы разнообразия и динамики лесов и лесных почв	
БИОГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГЛОБАЛЬНЫХ ЭКОСИСТЕМ <i>Башкин В.Н.</i>	62
РАЗЛИЧИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ЛЕСНЫХ ПОЧВ <i>Быховец С.С., Линкосало Т.</i>	63
ПОСЛЕПОЖАРНОЕ ПОЧВООБРАЗОВАНИЕ В ЛЕСАХ ИЗ ЕЛИ АЯНСКОЙ <i>Гладкова Г.А., Бутовец Г.Н.</i>	66
МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ЛЕСНОГО ЦЕНОЗА <i>Грабарник П.Я., Алейников А.А., Ефименко А. С., Безрукова М.Г.</i>	67
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОСТАВА И БИОМАССЫ МИКРОГРУППИРОВОК ВИДОВ НАПОЧВЕННОГО ПОКРОВА В ХВОЙНЫХ ЛЕСАХ КОСТРОМСКОЙ ОБЛАСТИ <i>Грозовская И.С., Ханина Л.Г., Бобровский М.В., Смирнов В.Э.</i>	69
ВЛИЯНИЕ ПОЖАРОВ НА ИЗМЕНЕНИЕ ПОЧВЕННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА И СОДЕРЖАНИЕ ПАУ В ЛЕСНЫХ ПОЧВАХ РЕСПУБЛИКИ КОМИ <i>Дымов А.А., Габов Д.Н., Низовцев Н.А., Жангуров Е.В., Дубровский Ю.А.</i>	71
ИЗМЕНЕНИЕ СОСТАВА ПОЧВ И ДОМИНИРУЮЩИХ РАСТЕНИЙ НА ПИРОГЕННЫХ СТАДИЯХ ЕЛЬНИКА КУСТАРНИЧКОВО-ЗЕЛЕНОМОШНОГО <i>Исаева Л.Г., Химич Ю.Р.</i>	73
ПОСЛЕПОЖАРНАЯ ДИНАМИКА ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОЧВ ЛЕСОВ БОРЕАЛЬНОЙ ЗОНЫ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА РОССИИ <i>Калимова И.Б., Дроздова И.В., Беляева А.И.</i>	75
ВЛИЯНИЕ АЗОТА НА МИНЕРАЛИЗАЦИЮ ПОСТУПАЮЩЕГО В ПОЧВУ ОПАДА <i>Квиткина А.К., Ларионова А.А.</i>	76

СКОРОСТИ И ХАРАКТЕРНЫЕ ВРЕМЕНА РАЗЛОЖЕНИЯ ДРЕВЕСНОГО ОТПАДА В ТЕМНОХВОЙНЫХ ЛЕСАХ СЕВЕРНОГО УРАЛА (ПЕЧОРО-ИЛЫЧСКИЙ ЗАПОВЕДНИК) <i>Кожина В.С., Семиколенных А.А.</i>	78
УГЛЕРОДНЫЙ ЦИКЛ В ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ЮЖНОЙ ТАЙГИ: <i>Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Мякшина Т.Н., Сапронов Д.В., Савин И.Ю., Кудеяров В.Н.</i>	80
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЕСТЕСТВЕННЫХ ПОПУЛЯЦИЙ ЕЛИ (PICEA ABIES (L.) KARST.) И ЛЕСОПОСАДОК ПО СОСТОЯНИЮ ГЕНОФОНДА И СТЕПЕНИ ПОРАЖЕННОСТИ КОРОЕДОМ (IPS TYROGRRAPHUS (L.)) В ПОДМОСКОВЬЕ <i>Макеева В.М., Смуров А.В., Политов Д.В., Белоконь М.М., Белоконь Ю.М., Сулова Е.Г., Калинин А.А.</i>	83
ВЛИЯНИЕ ЛИТОГЕННОГО ФАКТОРА НА ТРАНСФОРМАЦИЮ СОЕДИНЕНИЙ АЗОТА ЛЕСНЫХ ПОЧВ <i>Надпорожская М.А., Львова Л.Б., Ковш Н.В., Федорос Е.И., Чертов О.Г.</i>	84
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОЙ СТРАТИФИКАЦИИ БИОМАССЫ КОРНЕЙ В СМЕШАННЫХ ДРЕВОСТОЯХ <i>Рочева Л.К., Шанин В.Н., Шашков М.П., Иванова Н.В., Москаленко С.В.</i>	87
ПОСТУПЛЕНИЕ УГЛЕРОДА В ПОЧВУ С ОПАДОМ <i>Сапронов Д.В.</i>	89
ГОДОВАЯ ДИНАМИКА МИНЕРАЛЬНОГО АЗОТА В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЕ (МОСКОВСКАЯ ОБЛАСТЬ) <i>Семиколенных А.А.</i>	90
ПОСЛЕПОЖАРНОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ РАСТИТЕЛЬНОГО И ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ШИРОКОЛИСТВЕННО-КЕДРОВОГО ЛЕСА (ЮЖНЫЙ СИХОТЭ-АЛИНЬ) <i>Сибирина Л.А.</i>	91
СПЕЦИФИКА ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ В РИЗОСФЕРЕ ЕЛИ <i>Соколова Т.А., Толпешта И.И., Чалова Т.С.</i>	93
ОСОБЕННОСТИ МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО СОСТАВА ИЛИСТОЙ ФРАКЦИИ В РИЗОСФЕРЕ ЕЛИ <i>Толпешта И.И., Соколова Т.А.</i>	95
СПЕЦИФИКА ЛЕСНЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ И АВТОМОРФНЫХ ПОЧВ В СВЯЗИ С ОСОБЕННОСТЯМИ ГЕОЛОГИИ И РЕЛЬЕФА УРОЧИЩА БАРСОВА ГОРА (СРЕДНЕЕ ПРИОБЬЕ) <i>Тюрин В.Н., Сорокина Е.П.</i>	97
К ВОПРОСУ О ПРИРОДЕ КИСЛОТНОСТИ ТАЕЖНЫХ ПОЧВ <i>Шамрикова Е.В.</i>	99
МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ОСНОВНЫХ ПУЛОВ УГЛЕРОДА НА ПРИМЕРЕ СМЕШАННЫХ ЛЕСОВ ЮЖНОЙ ФИНЛЯНДИИ <i>Шанин В.Н., Комаров А.С., Хораськина Ю.С., Быховец С.С., Mäkipää R., Linkosalo T.</i>	101
ВЛИЯНИЕ ЗОН АККУМУЛЯЦИИ НА СВОЙСТВА ПОЧВ И СООТНОШЕНИЕ ВИДОВ РАЗНЫХ ЭКОЛОГО-ЦЕНОТИЧЕСКИХ ГРУПП <i>Шарый П.А., Коротков В.Н.</i>	103
Секция 3. Разнообразие почвенной фауны и микроорганизмов МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ ИНДИКАЦИЯ ПОЧВ ЭКОСИСТЕМ ЭКСТРЕМАЛЬНОГО ТИПА (КРИОГЕННЫХ, ГИДРОМОРФНЫХ) <i>Гродницкая И.Д.</i>	106

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ И АКТИВНОСТИ МИКРОБНЫХ СООБЩЕСТВ АРКТИЧЕСКИХ И СУБАРКТИЧЕСКИХ ПОЧВ СИБИРИ, ПОДСТИЛАЕМЫХ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТОЙ <i>Евграфова С.Ю., Холодилова В.В., Ворожцова Е.А.</i>	108
ВЛИЯНИЕ ВЫСОТНОЙ ПОЯСНОСТИ И ЭКСПОЗИЦИИ СКЛОНОВ НА СТРУКТУРУ ПОЧВЕННОЙ ФАУНЫ В ГОРАХ ЗАПОВЕДНИКА «ПАСВИК» (МУРМАНСКАЯ ОБЛАСТЬ) <i>Зенкова И.В.</i>	109
ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ПОЧВЕННОЙ МЕЗОФАУНЫ В СОСНОВЫХ ЛЕСАХ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ <i>Колесникова А.А., Конакова Т.Н.</i>	111
УЧАСТИЕ ТЕРМИТОВ В ФОРМИРОВАНИИ ПОЧВЕННЫХ ПОТОКОВ CO ₂ ВО ВЛАЖНЫХ ТРОПИЧЕСКИХ ЛЕСАХ ЮЖНОГО ВЬЕТНАМА <i>Лопес де Гереню В.О., Аничкин А.Е., Авилов В.К.</i>	113
СТРУКТУРА НАСЕЛЕНИЯ ПАНЦИРНЫХ КЛЕЩЕЙ В МИКРОМЕСТООБИТАНИЯХ ХВОЙНЫХ ЛЕСОВ ПОДЗОНЫ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ <i>Мелехина Е.Н.</i>	115
ВКЛАД МИКОРИЗЫ В ПОТОК ПОЧВЕННОГО CO ₂ ПОД РАЗНЫМИ ДРЕВЕСНЫМИ ПОРОДАМИ <i>Меняйло О.В., Матвиенко А.И.</i>	117
МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ЛЕСОРАСТИТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ ПОЧВ СИБИРИ <i>Сорокин Н.Д.</i>	118
МИКРОБНЫЙ КОМПОНЕНТ ПОЧВ ЕЛОВЫХ ЛЕСОВ ГЕОХИМИЧЕСКИ СОПРЯЖЕННОГО СЕВЕРОТАЕЖНОГО ЛАНДШАФТА (КОЛЬСКИЙ ПОЛУОСТРОВ) <i>Сусьян Е. А., Ананьева Н. Д., Орлова М. А., Лукина Н. В.</i>	120
НОВЫЕ ВИДЫ ЗЕЛЕННЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ (CHLOROPHYTA) СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЫ <i>Темралеева А.Д., Минчева Е.В., Букин Ю.С., Щербаков Д.Ю. , Пинский Д.Л.</i>	122
КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА РОЛИ ПОЧВЕННОЙ ФАУНЫ В ТРАНСФОРМАЦИИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА И ГУМИФИКАЦИИ В ЛЕСНЫХ ПОЧВАХ <i>Чертков О.Г.</i>	124
НАСЕЛЕНИЕ ДОЖДЕВЫХ ЧЕРВЕЙ СТАРОЗРАСТНЫХ И МОЛОДЫХ ЛЕСОВ ЗАПОВЕДНИКА "КАЛУЖСКИЕ ЗАСЕКИ" <i>Шашков М.П.</i>	127
Секция 4. Экологические функции лесных почв и биоразнообразие лесов	
МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛЕСНЫХ ПОЧВ ДЛЯ ИХ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ <i>Ананьева Н.Д., Гавриленко Е. Г.</i>	130
БИОЛОГИЧЕСКИЙ КРУГОВОРОТ УГЛЕРОДА, АЗОТА И ЗОЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В СОСНОВЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРО-ВОСТОКА <i>Бобкова К.С.</i>	132
ИНОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД К ВОСТАНОВЛЕНИЮ ПРИГОРОДНЫХ ЛЕСОВ РОССИИ <i>Болотов Н.А., Щеглов Д.И., Беляев А.Б.</i>	133
ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ БИОГЕОЦЕНОЗОВ ИСТОРИЧЕСКИХ ПАРКОВЫХ ТЕРРИТОРИЙ В СОХРАНЕНИИ ПРИРОДНОГО БИОРАЗНООБРАЗИЯ <i>Ильяшенко М.А., Владыченский А.С.†, Семенюк О.В.</i>	136

ВЛИЯНИЕ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ НА ЗАПАСЫ УГЛЕРОДА И СВОЙСТВА ПОЧВ В ЗОНАЛЬНОМ РЯДУ ЭКОСИСТЕМ <i>Каганов В.В.</i>	138
ЭМИССИЯ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА ПОЧВАМИ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ ЗАПОВЕДНИКА «ПАСВИК» В КОЛЬСКОЙ СУБАРКТИКЕ <i>Кадулин М.С., Смирнова И.Е., Копцик Г.Н.</i>	139
БИОТРАНСФОРМАЦИЯ ЛИГНИНА В ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ <i>Ковалев И.В., Ковалева Н.О.</i>	141
ЗАПАСЫ УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ ХВОЙНЫХ ЭКОСИСТЕМ СЕВЕРО-ВОСТОКА <i>Кузнецов М.А., Осипов А.Ф., Бобкова К.С.</i>	144
ВЛИЯНИЕ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОЧВ <i>Кузнецов П.В., Гребенщикова В.И., Пройдакова О.А.</i>	144
ФИТОГЕННЫЕ МЕХАНИЗМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПЛОДОРОДИЯ ЛЕСНЫХ ПОЧВ <i>Орлова М.А.</i>	146
ЗАПАСЫ КРУПНЫХ ДРЕВЕСНЫХ ОСТАТКОВ КАК РЕЗЕРВУАР ПИТАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПОЧВЫ В ЕЛЬНИКАХ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ <i>Осипов А.Ф., Кузнецов М.А., Бобкова К.С.</i>	149
ЗАПАСЫ ПОЧВЕННОГО УГЛЕРОДА В ЭКОСИСТЕМАХ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ (РЕСПУБЛИКА КОМИ) <i>Пастухов А.В., Каверин Д.А.</i>	150
МИГРАЦИЯ ПРИРОДНЫХ ВОД В УСЛОВИЯХ МОДЕЛЬНОГО ДЛИТЕЛЬНОГО ОПЫТА <i>Первова Н.Е.</i>	152
ОДНОВРЕМЕННАЯ ОЦЕНКА СКОРОСТИ РАЗЛОЖЕНИЯ ОПАДА ЧЕРЕЗ ПОТЕРЮ МАССЫ И ИЗМЕРЕНИЕ ЭМИССИИ СО ₂ В УСЛОВИЯХ ТУНДРЫ И ЮЖНОЙ ТАЙГИ <i>Почикалов А.В., Карелин Д.В.</i>	154
ПРОДУКТИВНОСТЬ ФИТОМАССЫ И СВОЙСТВА ПОЧВ В КАТЕНАХ ПОД ИСКУССТВЕННЫМИ ЛЕСНЫМИ НАСАЖДЕНИЯМИ В ШИРИНСКОЙ СТЕПИ <i>Сорокина О.А.</i>	156
ЭКОЛОГО-КУЛЬТУРНЫЕ ФУНКЦИИ ПОЧВ ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРИРОДНОГО ЗАПОВЕДНИКА «ШУЛЬГАН-ТАШ» <i>Сулейманов Р.Р.</i>	158
Секция 5. Антропогенное влияние как фактор дифференциации лесного почвенного покрова	
НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТРАНСФОРМАЦИИ ОПАДА <i>Артемкина Н.А., Горбачева Т.Т.</i>	162
ТОРФЯНЫЕ ПОЧВЫ КАК ИНДИКАТОР ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ <i>Ахметьева Н.П., Михайлова А.В.</i>	164
СОСТАВ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПОЧВ КАРЕЛИИ НА РАЗЛИЧНЫХ СТАДИЯХ ИСКУССТВЕННОГО ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЯ <i>Бахмет О.Н.</i>	166
МИКРООРГАНИЗМЫ ЛЕСНЫХ ПОЧВ И СОПРЕДЕЛЬНЫХ СРЕД ОБИТАНИЯ В ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ АЭРОТЕХНОГЕННЫХ ВЫБРОСОВ КОМБИНАТА «ПЕЧЕНГАНИКЕЛЬ» <i>Евдокимова Г.А., Корнейкова М.В., Мозгова Н.П.</i>	167
РИСКИ РАЗВИТИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ТУРИЗМА И ЕГО ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНЫЙ ПОКРОВ ПРИ ОБУСТРОЙСТВЕ ТРОПЫ К СТОЛБАМ ВЫВЕТРИВАНИЯ ПЛАТО МАНЬ-ПУПУНЁР (ПЕЧОРО-ИЛЫЧСКИЙ ЗАПОВЕДНИК) <i>Захаров Н.А., Добрынин Д.В., Семиколенных А.А.</i>	169

МИКРОБНЫЙ КОМПОНЕНТ ПОЧВ, ЕГО ДЫХАТЕЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ И СТРУКТУРА В СОПРЯЖЕННОМ РЯДУ ЛЕС-ПАШНЯ-УРБОЭКОСИСТЕМА <i>Иващенко К.В., Васенёв В.И., Ананьева Н.Д.</i>	171
ВЛИЯНИЕ РЕКРЕАЦИИ НА СВОЙСТВА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ ЛЕСОПАРКОВ МОСКВЫ <i>Кузнецов В.А., Рыжова И.М., Стома Г.В.</i>	173
ВЛИЯНИЕ РУБОК ГЛАВНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ НА БИОТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС СРЕДНЕТАЕЖНЫХ ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ <i>Лаптева Е.М., Колесникова А.А., Таскаева А.А. Конакова Т.Н., Кудрин А.А., Виноградова Ю.А., Перминова Е.М.</i>	175
ИЗМЕНЕНИЕ РАСТИТЕЛЬНОСТИ И ПОЧВЫ В ХОДЕ САМОВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ СУКЦЕССИИ В ПОДЗОНЕ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ <i>Лиханова И.А., Арчезова И.Б., Кузнецова Е.Г., Панюков А.Н., Лаптева Е.М., Ковалева В.А.</i>	178
ДЕСТРУКЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОСТАТКОВ НА ВЫРУБКАХ ЕЛЬНИКОВ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ <i>Лиханова Н.В.</i>	179
СОСТОЯНИЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ И МИКРОБНОГО КОМПОНЕНТА ПОЧВЫ НА ЗАЛЕЖАХ В ЗАПОВЕДНИКЕ «КАЛУЖСКИЕ ЗАСЕКИ» <i>Москаленко С.В., Иващенко К.В., Бобровский М.В., Ананьева Н.Д.</i>	180
ВЛИЯНИЕ МОНЧЕГОРСКОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМБИНАТА НА ФОРМЫ МЕТАЛЛОВ (CU, NI, PB, CD) И СОСТОЯНИЕ МИКРОБНОГО СООБЩЕСТВА В ЛЕСНЫХ ПОЧВАХ <i>Пампура Т.В., Мякшина Т.Н., Благодатская Е. В.</i>	182
ИЗМЕНЕНИЕ АЗОТНОГО СТАТУСА ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ В УСЛОВИЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ ОКСИДАМИ АЗОТА <i>Припутина И.В.</i>	185
ИЗМЕНЕНИЕ ЗАПАСОВ УГЛЕРОДА В ПОСТАГРОГЕННЫХ ЭКОСИСТЕМАХ В ХОДЕ ЕСТЕСТВЕННОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЛЕСА НА АГРОДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ <i>Рыжова И.М., Ерохова А.А., Подвезенная М.А.</i>	187
ВЛИЯНИЕ ПОСТАГРОГЕННОЙ ДИНАМИКИ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ИЗМЕНЕНИЯ СВОЙСТВ ПОЧВ ЮЖНОЙ ТАЙГИ ПРИ РАЗНЫХ ВИДАХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ОСВОЕНИЯ <i>Телеснина В.М., Климович Е.Ю.</i>	189
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И АНТРОПОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ РАЗНООБРАЗИЕ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ВЫРУБОК ЮЖНОТАЕЖНЫХ ЕЛЬНИКОВ <i>Уланова Н.Г.</i>	192
ЭВОЛЮЦИЯ СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ В ЮЖНОЙ ЛЕСОСТЕПИ СРЕДНЕРУССКОЙ РАВНИНЫ ПОД ВЛИЯНИЕМ ЧЕЛОВЕКА <i>Хохлова О.С., Чендеев Ю.Г., Мякшина Т.Н.</i>	194
ВЛИЯНИЕ РЕКРЕАЦИИ НА ЭКОСИСТЕМЫ ЮЖНЫХ ЕЛЬНИКОВ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА ВАЛДАЙСКИЙ <i>Юзбеков А.К., Мазина С.Е., Тимошенко В.В.</i>	195
Авторский указатель	198
Список сокращенных названий организаций	200

ПРЕДИСЛОВИЕ

*Специфичность лесных почв обуславливается специфичностью самих лесных биогеоценозов.
Л.О. Карпачевский. Лес и лесные почвы. 1981.*

V-ая Всероссийская научная конференция по лесному почвоведению продолжает традицию научных мероприятий, которые проводятся секцией по лесному почвоведению Общества почвоведов им. В.В. Докучаева с периодичностью два года, начиная с 2005 г. В их организации принимали участие ведущие научно-исследовательские институты почвенно-биологического направления Российской академии наук: Институт Леса Карельского Научного Центра РАН (Петрозаводск, 2005, 2009), Институт биологии Коми Научного Центра УрО РАН (Сыктывкар, 2007), Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского НаучногоЦ РАН (Апатиты, 2011).

Пятая конференция проводится 24—27 сентября 2013 г. в Пущино (Московской обл.) на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физико-химических и биологических проблем почвоведения Российской академии наук (ИФХиБПП РАН). В ее организации принимают участие МОО «Общество почвоведов им. В.В. Докучаева», ФГБУН Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, Факультет почвоведения МГУ им. М.В.Ломоносова. Объединенные общим объектом исследования, конференции разных лет тематически сфокусированы на разных аспектах лесного почвоведения. Тема V-й конференции — «Разнообразие лесных почв и биоразнообразие лесов». Основная цель конференции — обсудить закономерности природной и антропогенной динамики почв и других компонентов лесных биогеоценозов во всем их многообразии и сложных взаимосвязях и наметить пути дальнейшего развития этого важнейшего направления лесного почвоведения и лесной биогеоценологии.

Со времени проведения последней конференции ушли из жизни Александр Сергеевич Владыченский и Лев Оскарович Карпачевский — два замечательных человека, ученые, широко известные в России и за рубежом, с именами которых неразрывно связано развитие лесного почвоведения. Посвящение очередной конференции их памяти является естественным откликом на эту невосполнимую утрату.

В Оргкомитет V-й конференции вошли ведущие отечественные специалисты — почвоведы, биологи и экологи. Конференция привлекла самое широкое внимание, о чем свидетельствует количество поданных на участие заявок и присланных тезисов докладов, представленных в данном сборнике.

В соответствии с тематиками и Программой конференции, сборник состоит из шести разделов. В первый — вошли доклады Пленарной сессии. Второй раздел включает в себя материалы, посвященные вопросам генетического разнообразия лесных почв. Самый обширный раздел — это доклады секции «Биогенные и абиотические факторы разнообразия и динамики лесных почв», среди которых можно выделить группу

докладов, посвященных актуальным вопросам влияния пожаров на лесные почвы и восстановления лесов после пожаров. В особый раздел выделены доклады, посвященные изучению разнообразия почвенной фауны и микроорганизмов. Отдельный раздел посвящен вопросам изучения экологических функций лесных почв и биоразнообразию лесов. В заключительном разделе представлены доклады, в которых рассматриваются различные антропогенные факторы дифференциации лесного почвенного покрова.

Авторы данного сборника материалов представляют более 30 организаций. Их список приведен в конце — после авторского указателя.

Организация и проведение V-й Всероссийской научной конференции по лесному почвоведению «Разнообразие лесных почв и биоразнообразие лесов» (памяти Л.О. Карпачевского и А.С.Владыченского) стало возможным благодаря финансовой поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (грант № 13-04-06080 г).

ПЛЕНАРНАЯ СЕКЦИЯ

ФОРМИРОВАНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПОЧВЫ В МНОГОЛЕТНЕМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ С ОСНОВНЫМИ ЛЕСООБРАЗУЮЩИМИ ВИДАМИ СИБИРИ

Ведрова Э.Ф., Шугалей Л.С.
ИЛ СО РАН, Красноярск
estella_vedrova@mail.ru

Накопленный обширный и разносторонний материал по сопряженному исследованию леса и почвы позволяет в общем виде охарактеризовать взаимосвязь и взаимообусловленность лесорастительного и почвообразовательного процессов. Однако многократная смена древостоев за время жизни почвы, отсутствие синхронности в развитии лесо- и почвообразовательных процессов приводит к тому, что, исследуя взаимодействие леса и почвы, свойства последней рассматриваются обычно, как результат исторического развития, с нулевым отсчетом от момента образования почвы. Оценка направленности и скорости обменных процессов в системе лес↔почва возможна в условиях многолетнего эксперимента, в котором древостои начинают формироваться в едином экологическом местообитании на почвенном субстрате, исходные физико-химические свойства которого изучены и зафиксированы. Исходя из этого, в 1968—1972 гг. сотрудники лаборатории лесного почвоведения Института леса и древесины СО АН СССР по инициативе проф. Н.В. Орловского на темно-серых старопахотных почвах заложили многолетний эксперимент с шестью основными лесообразующими породами Сибири. Культуры кедра (*Pinus sibirica*), сосны (*Pinus silvestris*), лиственницы (*Larix sibirica*), ели (*Picea abovata*), березы (*Betula fruticosa*) и осины (*Populus tremula*), высаженные в 1971—72 гг. 2—3х летними саженцами. Опытный участок, предназначенный под посадку лесных культур, был подвергнут плантажной обработке с буртованием гумусового слоя для получения насколько возможно однородного почвенного массива. Почвенный покров отличался от контрольного лесного в основном строением верхней 60-сантиметровой толщи, подвергнутой обработке: ТПО1 (0—27 см) + ТПО2 (27—60 см).

К настоящему времени культуры достигли 40-летнего возраста. По состоянию напочвенного покрова культуры кедра, сосны, лиственницы можно отнести к типу мертвопокровных, ельник к типу зеленомошных, а осинник и березняк — к типу разнотравных. Поскольку исследуемые культуры формируются в одинаковых экологических условиях, все различия в почвенной системе в процессе их формирования, будут обусловлены влиянием древесного полога разного породного состава.

Анализ результатов исследований показал качественные и количественные изменения в органическом веществе почвы, происшедшие с момента посадки культур. Сформировался специфичный для каждой культуры горизонт лесной почвы — подстилка. Основным источником ее формирования служит древесный опад. По сравнению с 25-летними культурами масса опада осталась прежней только в осиннике, в ельнике увеличилась в 3, а в остальных культурах в 1.3—1.5 раза. В массе опада сосняка, лиственничника и ельника снизилась доля хвои и заметно увеличилась доля ветвей.

По сравнению с 25-летними культурами масса углерода, аккумулированного в подстилке кедровника и сосняка увеличилась в 2.5—2.6 раза, в лиственничнике в 1.5, ельнике почти в 5 раз, в осиннике и березняке, соответственно, в 2 и 2.8 раза. Биотрансформация растительных остатков подстилки, в том числе их гумификация, обусловила новообразование

сложных органических продуктов — подвижных гумусовых веществ. Интенсивность аккумуляции СПОВ в подстилке 40-летних культур не эквивалентна увеличению массы углерода подстилки: превышает последнюю почти на порядок. Иначе говоря, причиной повышенного по сравнению с 25-летними культурами запаса СПОВ является не столько общее увеличение массы подстилки, сколько существенное изменение ее состава, увеличение доли органического вещества слоя F из смеси неполностью разложившихся растительных остатков и гумифицированного материала.

Интенсивность потери массы подстилки при разложении в культурах древесных видов, ежегодно сбрасывающих листву, изменяется от 14 до 26%, в кедровнике и сосняке составляет 6 и 11%, в ельнике — лишь 2—3%. Удельная скорость разложения в 40-летних культурах по сравнению с 25-летними ниже в 1.5—2.5 раза, а в ельнике почти в 9 раз. Основная причина заторможенности разложения в 40-летних культурах — изменение состава растительных остатков: увеличение в массе подстилки доли растительных остатков подгоризонта ферментации и таких медленно разлагающихся компонентов как шишки, кора, ветки.

Интенсивности процессов поступления опада и «сработки» массы опада-подстилки при разложении в 40-летних культурах в отличие от 25-летних, не сбалансированы. В лиственничнике интенсивность разложения почти в два раза превышает поступление опада, а в ельнике продолжается накопление массы разлагающихся остатков. Наиболее уравновешенны интенсивности названных процессов в березняке.

Кроме формирования подстилок в верхней части плантажированного почвенного субстрата сформировались аккумулятивные горизонты. Морфологический профиль искусственной почвы приобрел следующий облик: O-AУ1-AУ2-ТПО1ра-ТПО2-ВТ-Сg.

Спустя 40 лет верхняя часть 20-ти сантиметровой толщи почвы почти всех культур характеризуются слабокислой реакцией (pH_{H_2O} 5.0-5.68 против 6.13—6.38 в 1971 г). Отчетливое подкисление почвы этого слоя, в особенности его верхних 10-ти см, проявляется только в ельнике: pH_{H_2O} составляет 4.7—4.8, pH_{KCl} — 3.8—3.9.

За 40 лет в верхних 20-ти см почвы произошло изменение плотности и концентрации СГУМ, в разной степени выраженное в насаждениях разных пород. Запасы С в гумусе слоя почвы 0—20 см под всеми культурами увеличились. В ельнике прирост составил 44%, лиственничнике — 18, березняке — 16, кедровнике — 12, сосняке и осиннике — 9 и 4% соответственно. В большинстве культур основной аккумуляцией охвачен 10-ти сантиметровой слой почвы. В сосняке в отличие от других культур в слое почвы 5—10 см аккумуляция $C_{гум}$ по сравнению с выше и ниже лежащими слоями отсутствует. Изменения разной степени отмечены как в подвижной части гумуса (она наиболее динамична), так и во фракции стабильного гумуса.

Максимальная относительно исходных запасов прибавка $C_{орг}$ ($C_{подст} + C_{гум}$) в слое почвы 0—20 см отмечается в ельнике. В культурах кедр, сосны и осинника она на 70—80% обусловлена сформировавшейся подстилкой, в лиственничнике, ельнике и березняке — на 50, 60 и 66% соответственно — аккумуляцией углерода в гумусе почвы.

В целом, проведенное исследование показало, что в культурах всех лесообразующих пород основным результатом 40-летнего взаимодействия компонентов формирующейся системы лес ↔ почва является выраженная в разной степени аккумуляция продуктов гумусообразования (гумификации) разлагающегося растительного материала опада-подстилки. Специфичность влияния лесообразующей породы на прилегающий к подстилке слой почвы отмечена в ельнике и сосняке. В ельнике отчетливо выражено подкисление почвы в слое 0-10см, в сосняке — обозначился слой (5—10см) элювирования гумусовых веществ с последующим накоплением в нижележащем слое 10—20см.

ЛЕСНЫЕ ПОЧВЫ В ПОЧВЕННЫХ КЛАССИФИКАЦИЯХ

Герасимова М.И.

МГУ имени М.В. Ломоносова, Географический факультет, Москва

maria.i.gerasimova@gmail.com

Задачами используемых в стране базовых классификаций является адекватное и максимально полное отражение свойств почв, в данном случае лесных, на разных уровнях исследования и при решении различных задач, включая картографические. Под уровнями имеется в виду детальность исследований: начиная от изучения отдельных биогеоценозов и даже их парцеллярных структур, до оценок почвенного покрова (под)зон и провинций. К задачам можно отнести выявление зависимостей между почвами и типами леса, анализ лесорастительных свойств почв, определение отдельных параметров биологического круговорота в лесных экосистемах, в том числе циклов углерода и другие. Решение части перечисленных задач требует не столько базовых, сколько прикладных классификаций; их наиболее известными примерами могут быть классификации гумусовых горизонтов и лесных подстилок, разработанные О.Г. Чертовым, В. Кубиеной, А.С. Владыченским, Л.Г. Богатыревым, группой французских почвоведов в качестве приложения к национальной классификации (*Référentiel pédologique*, 1995).

Базовые классификации необходимы для полноценной инвентаризации почвенного покрова лесных земель, учитывающей региональную специфику территорий и открытой для малоизученных «новых» почв, для отражения взаимосвязей между свойствами и функциями почв, с одной стороны, составом и динамикой лесных фитоценозов — с другой, а также для представления разнообразных антропогенных модификаций почв.

В качестве базовых рассмотрим эколого-генетическую «Классификацию и диагностику почв СССР» 1977 г. и субстантивно-генетическую классификацию почв России в двух ее последних вариантах: «Классификацию...» 2004 г. и «Полевой определитель...» 2008 г.

В классификации почв СССР 1977 г. имеется относительно строгое соответствие для автономных почв подзолистого типа (+ таежные подзоны/подтипы), серых и бурых лесных, коричневых почв, красноземов и желтоземов соответствующим зонам, а также некоторых полугидроморфных почв заболоченным лесам. Подобная сопряженность полезна в общем виде, и на ее основе было построено немало мелкомасштабных и обзорных карт. При детальном исследовании почв бореальных лесов (например, парцеллярной структуры биогеоценозов Л.О. Карпачевским, 1977) использовались количественные характеристики, в том числе физико-химические, степени оподзоленности, гумусо- и торфонакопления и качественно-количественные для подстилок (АО', АО'', АО'''), чего, на наш взгляд, сейчас уже недостаточно для отражения педоразнообразия лесных ценозов.

В классификации почв России имеется обращение к факторам почвообразования, в данном случае к лесной растительности, строго говоря, находящееся за пределами классификации и малоизвестное. В варианте 2004 г. это — «экоряды», которые учитывают характер поступления в почву органического вещества, его зольность, условия увлажнения и минерального питания; в варианте 2008 г. — «экологические таблицы», где представлена приуроченность почв к разным субстратам и условиям увлажнения по экотопам несколько более детальным, чем (под)зоны.

Однако для исследований лесных почв более существенны принципы и единицы самой классификации. В классификации почв России имеется много верхних аккумулятивных горизонтов (15 вместо А1, А0 и Т прежней системы), а также признаков, позволяющих дополнять информацию об основных горизонтах (например, серогумусовый с признаками грубогумусового — АУа0), фиксировать разные комбинации процессов. Ими для лесных почв могут быть: турбированность (зоо- и криогенная), уплотнение, реградация, следы пожаров, потечность гумуса и другие. В качестве «рабочих инструментов» описания различий между почвами остаются и количественные видовые параметры, которые можно относить к большему числу объектов–горизонтов. В результате, диагностический набор оказывается достаточно широким и дает возможность учитывать элементы парцеллярной структуры, ветровалы, активность педофауны, недавнюю историю лесной почвы. Открытость классификации, один из ее главных принципов, позволяет предлагать и вводить новые диагностические показатели. Так, в следующем приближении, следуя пожеланиям пользователей, предполагается придать диагностическое значение дернине (признак rz) и проявлениям начального гумусо-аккумулятивного почвообразования, что существенно при исследовании сукцессий на вырубках.

Для характеристики структур почвенного покрова лесов и катенарных закономерностей на лесных территориях эффективно использование сложных подтипов — результата сочетаний почвенных процессов, связанных с иллювированием/оподзоливанием, эрозией/аккумуляцией, локализацией и формами оглеения, ожелезнением, вложенными профилями в текстурно-дифференцированных почвах. Сложные подтипы могут включать также признаки, свойственные верхним почвенным горизонтам: грубогумусированные, перегнойные, торфянисто-перегнойные, гумусово-стратифицированные, реградированные и другие.

В исследованиях на региональном уровне использование классификации почв России в вариантах 2004 или 2008 г. дает возможность более полно и адекватно представить разнообразие почвенного покрова таежных ландшафтов благодаря введению в классификацию ряда «новых» почв: ржавоземов, криоземов и криометаморфических, элювоземов, грануземов, не говоря уже о различных подбурах и подзолах. Зависимости между свойствами этих почв и особенностями лесной растительности изучены еще далеко недостаточно и не для всех из перечисленных почв; выявление таких зависимостей взаимно обогащают почвенный и геоботанический блоки исследовательских и инвентаризационных работ.

В зарубежных классификациях верхним горизонтам уделяется существенно меньше внимания, чем срединным. Так, в американской Soil Taxonomy (1999) из 7 верхних горизонтов в лесных почвах могут встречаться 4 (ochric, folistic, umbric) и торфяной (histic), разделяемый по степени разложения торфа. В международной коррелятивной базе (WRB, 2006) верхние горизонты лесных почв практически отсутствуют, что, по мнению ее создателей, является ее недостатком и требует исправления в следующем издании. Французская классификация (1995) выгодно отличается большей детальностью разделения горизонтов А (7 вариантов), торфяных (4) и подстилок (система L-F-H) и наличием приложения с очень детальной характеристикой «форм гумуса в почвах лесов умеренного климата». С позиций задач классификации для лесного почвоведения его можно рассматривать как прикладной блок, производный от базовой почвенной классификации.

Литература

1. Карпачевский Л.О. Пестрота почвенного покрова в лесном биогеоценозе. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1977. – 312 с.
2. Классификация и диагностика почв СССР. – М.: Колос, 1977. – 224 с.
3. Классификация и диагностика почв России. – Смоленск: Ойкумена, 2004. – 342 с.
4. Полевой определитель. – М.: Почвенный ин-т им. В.В.Докучаева, 2008. – 182 с.
5. Référentiel pédologique (1995) / A Sound Reference Base for Soils: The "Référentiel Pédologique". Eds : M-C. Girard, D. Baize. INRA. 2006. 332 pp.
6. Soil Taxonomy (1999) / Soil Taxonomy. A basic system of soils classification for making and interpreting soil surveys. 2nd Edition. Agric. Handbook 436. Washington, DC.
7. WRB (2006) / Word Reference Base for Soil Resources. 2nd Edition. World Soil Resources Report No. 103. FAO. Rome.

МИКРООРГАНИЗМЫ ЛЕСНЫХ ПОЧВ ЕСТЕСТВЕННЫХ И НАРУШЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ СЕВЕРНОЙ ФЕННОСКАНДИИ

Евдокимова Г.А.
ИППЭС КНЦ РАН, Апатиты
galina@inep.ksc.ru

Микроорганизмы составляют основной генофонд, противостоящий изменениям биосферы на нашей планете. Высокая численность и темпы роста, разнообразие физиолого-биохимических свойств, полифункциональность, высокие адаптационные способности определяют важнейшую роль микроорганизмов — саморегулирование биосферы Земли. Они заселяют, казалось бы, самые непригодные для жизни ниши биосферы и в результате своей жизнедеятельности изменяют окружающую среду. По образному выражению академика А.А. Баева «Микроорганизм — это маленький химический завод».

Микробиота почв высоких широт отличается от микробиоты почв более южных районов рядом специфических черт, обусловленных особенностями среды их обитания. Микроорганизмы северных почв развиваются в условиях холодного климата, в относительно бедных питательными элементами почвах. Растительный опад здесь обогащен значительным количеством трудноразлагаемых соединений. Вследствие этого среди микробиоты северных почв преобладают мезо- и психротолерантные и олиготрофные, микроорганизмы. Адаптация микробиоты к экстремальным природным условиям выражается также в ограничении ее разнообразия и особенностях метаболизма. В частности, для микробиоты почв северной тайги характерна высокая продуктивность в течение короткого летнего периода. «Карликовость» клеток бактерий и уменьшение диаметра грибного мицелия является еще одним механизмом адаптации бактерий и грибов к экстремальным природным условиям. Высокая продолжительность солнечного сияния отражается на росте и развитии растений и увеличении количества корневых экссудатов, стимулирующих развитие ризосферной микробиоты. Все эти особенности микробиоты способствуют поддержанию гомеостаза экосистем современной Субарктики.

Одной из главных задач, стоящих перед нашей лабораторией в последнее десятилетие, является оценка микробных ресурсов и характеристика экологического и

таксономического разнообразия микробного компонента почв различных природных зон Северо-восточной Фенноскандии.

Самая высокая суммарная биомасса бактерий и микроскопических грибов по всему почвенному профилю выявлена под еловыми лесами — до 2.5 т/га. Наиболее заселен микроорганизмами органогенный горизонт. Грибной компонент в этом горизонте доминирует над бактериальным. Длина грибного мицелия достигает здесь сотен метров в 1 г почвы. Суммарная биомасса микроорганизмов под сосняками около 1.5 т/га, причем значительный вклад в нее обеспечивает бактериальная, а не грибная биомасса.

Микробная биомасса в течение вегетационного сезона многократно оборачивается. Число генераций бактерий в северотаежных подзолах может достигать 4—5 за месяц вегетационного периода. Месячная продукция бактерий в теплый период времени составляет в органогенных горизонтах лесных подзолов 1% от массы органического вещества почвы; месячная продукция грибов — 3% в ельниках и 1% в сосняках.

На основе оценки микробной биомассы почв различных природных зон Кольского полуострова и с учетом содержания органического вещества в почве и обогащенности его азотом составлена карта биогенности почв, характеризующая потенциальное почвенное плодородие, способность почв к самоочищению и их устойчивость к загрязнению.

Значительные территории на Кольском полуострове подвержены техногенной трансформации (воздействие газовоздушных выбросов комбинатов «Североникель», «Печенганикель», Кандалакшского алюминиевого завода — КАЗ), ведущей к изменению состава и свойств почв, включая и их биологическую составляющую. Уникальный, многолетний эксперимент с насыпной изначально незагрязненной почвой, заложенный на различных расстояниях от комбината «Североникель» по трансекте в 1976 г., позволил проследить за изменением биологических и химических свойств почвы. Длительные наблюдения проводятся также в зоне воздействия воздушных выбросов КАЗ.

Общими закономерностями при всех типах загрязнений почв являются: снижение видового разнообразия, изменение структуры сообществ микроорганизмов, увеличение доли условно патогенных грибов (УПГ). Особенно важно акцентировать внимание на увеличении доли УПГ при всех изученных типах загрязнений почв. Это относится к почвам, загрязненным тяжелыми металлами, соединениями фтора и нефтепродуктами. Доля потенциально патогенных грибов в зонах воздействия выбросов алюминиевого и медно-никелевого предприятий возросла на 15%, а при загрязнении почвы нефтепродуктами — на 20—25% по сравнению с фоновыми почвами. Причиной этого может быть эвритопность ППГ, их широкий диапазон толерантности к неблагоприятным экологическим условиям и способность утилизировать разнообразные субстраты.

Способность почвы к самовосстановлению во многом определяется особенностями трофической структуры ее биоты. Для сохранения устойчивости экосистемы должны быть гетерогенными, т.е. обладать богатым биологическим и биохимическим разнообразием. Сокращение размеров микробиомассы, уменьшение биологического и функционального разнообразия микроорганизмов снижает устойчивость природных экосистем к антропогенному воздействию.

Несмотря на то, что в начале XXI столетия содержание приоритетных загрязнителей в воздушных выбросах комбинатов цветной металлургии на Кольском полуострове снизилось относительно 80—90 годов в несколько раз, в почве адекватного их снижения не отмечено. Состояние почвенного покрова в зоне воздействия комбината «Североникель» не улучшилось. Продолжаются процессы эрозии почвы, снижения доли

органического вещества в подстилке. Выбросы загрязняющих веществ, в частности диоксида серы, снизились, уменьшились ожоги древесной растительности, но почва, как более буферная, стабильная система по сравнению с воздушной средой, продолжает оставаться токсичной для биоты (растений и почвообитающих организмов).

Данные по биомассе бактерий и грибов свидетельствуют о глубокой деградации почв в зоне сильного загрязнения воздушными выбросами комбината. Биомасса почвенной микробиоты в этой зоне в 2—6 раз ниже, чем в фоновой почве. Естественные процессы самоочищения почвы от тяжелых металлов очень длительны. Рассчитанный на основе многолетних данных период удаления меди и никеля из подзолистой почвы до уровня их ПДК составит 100—110 лет при прекращении выпадений загрязняющих веществ из воздуха.

За последние 10 лет произошло достоверное снижение концентрации соединений приоритетного загрязнителя фтора в атмосферных выпадениях и в органогенном горизонте почвы по градиенту загрязнения воздушными выбросами Кандалакшского алюминиевого завода. Содержание алюминия снизилось только в непосредственной близости к заводу (до 2 км). В связи со снижением объема загрязняющих веществ в выбросах завода и уменьшением степени загрязнения почв зона максимального загрязнения сократилась с 2.5 км до 1.5 км от источника выбросов, зоны сильного и умеренного загрязнений — на 5 км. Закономерности в изменении численности и биомассы основных групп микроорганизмов в почве стационарных участков за 10 летний период не изменились.

Негативное воздействие газовойоздушных выбросов предприятия алюминиевой промышленности на почву и растительность имеет более локальный характер по сравнению с воздействием выбросов медно-никелевого производства.

Ведущая роль почвенной биоты в почвообразовательных процессах определяется ее полифункциональной природой. Почвенные организмы являются неотъемлемой частью живой составляющей почвы, и в то же время, они выполняют функции внешнего фактора — одного из 5 докучаевских факторов почвообразования. Подобная двойственность локализации и функций почвенной биоты определяет ее ведущую роль в процессах почвообразования.

МОНИТОРИНГ ЭМИССИИ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА С ПОВЕРХНОСТИ ПОЧВЫ В ЮЖНОТАЕЖНОМ ЕЛЬНИКЕ (НОВГОРОДСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Замолодчиков Д.Г., Карелин Д.В.

МГУ имени М.В. Ломоносова, Биологический факультет; ЦЭПЛ РАН, Москва
dzamolod@cepl.rssi.ru

Ключевыми абиотическими факторами, контролирующими величину эмиссии диоксида углерода с поверхности почвы (ЭПП), являются температура и влажность почвы. Эти факторы 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 Гт С год⁻¹ (Bond-Lamberty, Tompson, 2010). На территории Российской Федерации крайне малое число исследований ЭПП проводится в режиме долгосрочного мониторинга.

В 2009 г. при поддержке Росгидромета на полигоне «Таежный лог» (Валдайский р-н, Новгородская обл.) стартовали работы по комплексному мониторингу потоков парниковых газов, включающие регулярные измерения ЭПП камерным методом. Исследовательский объект представлен 110-летним ельником мелкотравно-зеленомошным на дерново-подзолистой контактно-осветленной почве. Среднегодовые температуры в районе исследований в 2009, 2010, 2011 и 2012 гг. составляли соответственно 5.2, 4.6, 5.7 и 4.3°C, что на 1.1—2.5°C выше климатической нормы 1931—1960 гг. При широкой вариации величин ЭПП в теплый период года (от 2.0 до 5.4 г С м⁻² сут⁻¹) каждый из 4-х лет наблюдений имеет свои особенности. Наиболее благоприятные условия для дыхания почвы сложились в вегетационном сезоне 2012 г., когда на фоне средних температурных условий выпало оптимальное количество осадков. В 2009 г. выпало избыточное количество осадков при более низких температурах, а в 2010 г. осадки были существенно ниже нормы, а температура значительно выше, что привело к заметному снижению величин ЭПП в июле и августе. Полученный набор данных послужил основой для построения регрессионных моделей, описывающих ЭПП как нелинейную функцию от температуры и количества осадков в теплый период и от температуры в холодный период года.

Согласно модельным расчетам, годовые ЭПП в 2009, 2010, 2011 и 2012 гг. составили соответственно 639, 617, 693 и 681 г С м⁻². Минимальная годовая величина ЭПП в 2010 г. определяется депрессией дыхания почвы при недостатке осадков на фоне повышенных температур во второй половине лета. Средняя за 4 года величина ЭПП равна 658 г С м⁻² год⁻¹, из которых 460 (69.9%) приходится на теплый, а 98 г С м⁻² год⁻¹ (30.1%) — на холодный период года. 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 май-сентябрь 1978 г. составило 6.0 г С м² сут⁻¹ при вариации от 3.8 (май) до 7.5 (сентябрь) г С м⁻² сут⁻¹. В 2009—2012 гг. аналогичное значение равнялось 3.3 г С м⁻² сут⁻¹. Снижение ЭПП на объекте исследования в сравнении с 1978 г. не соответствует глобальному тренду и может быть объяснено возникновением лимитирования по влажности почвы, а также уменьшением продуктивности древостоя на фоне климатогенного усыхания (Сафонов и др., 2012).

Литература

1. *Bond-Lamberty B., Thomson A.* Temperature-associated increases in the global soil respiration record // *Nature*. 2010. V. 464. P. 579-582.
2. *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.
3. *Сафонов С.С., Карелин Д.В., Грабар В.А., Латышев Б.А., Грабовский В.И., Уварова Н.Е., Замолдчиков Д.Г., Коротков В.Н., Гитарский М.Л.* Эмиссия диоксида углерода от разложения валежа в южнотаежном ельнике // *Лесоведение*. 2012. № 5. С. 44—49.

РАЗВИТИЕ ПОЧВ И ЛЕСОВ

Лукина Н.В.
ЦЭПЛ РАН, Москва
lukina@cepl.rssi.ru

Почва является условием и следствием развития биоты. Влияние биоты, в том числе растительности, на развитие почв давно ни у кого не вызывает сомнений, однако материалы по взаимодействию и механизмам влияния неоднозначны и часто носят противоречивый характер. Сложность исследования влияния биоты на свойства почв, так же как и решение обратной задачи, обусловлена тем, что этот фактор почвообразования является, как и сама почва, компонентом биогеоценоза. Проблема развития почв активно разрабатывается с момента зарождения докучаевского генетического почвоведения, однако вопрос до сих пор остается одним из наиболее дискуссионных. Уже в начале прошлого века русские ученые обращали внимание на решающую роль в почвообразовании не только растительности, но и животных (муравьи, слепыши), разрыхляющих почву, уничтожающих связанный травянистый покров и способствующих тем самым расселению древесных растений. А.А. Роде выделял важную роль растений в почвообразовании, но полагал, что сингенетические смены, понимаемые В.Н. Сукачевым как случаи развития растительности, при которых движущим фактором являются только взаимоотношения между самими растениями, не существуют в природе. Существуют же, при неизменности внешних факторов, эндоэкогенетические смены (термин Козо-Полянского), совершающиеся под влиянием взаимодействия компонентов биогеоценоза. Формирующийся современный взгляд на педогенез, появившейся как результат осознания вездесущей изменчивости условий окружающей среды, неоднонаправленных изменений и множества устойчивых состояний, предполагает нелинейные изменения в лесных почвах и ландшафтах, ведущие к их развитию. Многочисленные эмпирические работы по изменению окружающей среды показывают, что нестабильность условий является нормой.

В настоящее время признано, что ведущими факторами, определяющими мозаику лесного покрова и развитие почв, являются естественные (вызванные биотой) и антропогенные нарушения. Все экосферные системы, включая почвы, рассматривают как диссипативные структуры, находящиеся вдали от равновесия под действием ведущих переменных. Такие структуры являются динамическими и нелинейными, из чего следует два важных свойства почвенных систем — в зависимости от внутренних условий и внешних сил почвы могут проявлять стабильный, периодический и хаотический характер поведения, и им могут быть свойственны характеристики самоорганизации.

Почва, характеризующаяся нестабильным, хаотичным поведением, может развиваться в различных направлениях и в любое время может находиться в различных состояниях. Согласно этому типу поведения, состояние в любое время является уникальным и зависит от начальных условий и исторических случайностей (незначительные нарушения, изменения могут приводить к значительным последствиям). Представления о нескольких вероятных направлениях развития почв соответствуют складывающимся современным взглядам на развитие растительных сообществ. Многочисленные наблюдения по влиянию растений, почвенных животных и микроорганизмов на лесные почвы позволяют заключить, что эти организмы влияют таким

образом, что со временем почвы становятся более благоприятными для их роста и развития. Конкуренция между видами растений и состав растительных сообществ определяются динамикой питательных веществ. Увеличение содержания элементов питания в ходе сукцессии дает преимущества в конкуренции видам растений, способных к активному росту. Существует тесная связь между скоростью роста, продолжительностью жизни органов растений и способностью к разложению их тканей после отмирания. Высокая продолжительность жизни органов растений коррелирует с аккумуляцией в них лигнина и других вторичных метаболитов. Затраты на биосинтез лигнина значительно выше, чем целлюлозы. Адаптация к бедной элементами питания окружающей среде посредством снижения потерь элементов питания за счет увеличения продолжительности жизни органов растений имеет важное негативное побочное действие: стоимость биосинтеза тканей возрастает, что приводит к снижению потенциальной скорости роста. Это является существенным недостатком при увеличении плодородия почв, поскольку медленно растущие виды в таких условиях не конкурентоспособны.

Другой важной особенностью экосистем, сложенных видами, отличающимися медленным круговоротом биомассы и элементов питания, является снижение способности к разложению их опада, что также снижает потерю элементов питания. Как правило, существует тесная обратная связь между содержанием лигнина и скоростью разложения тканей растений. Многие другие вторичные метаболиты также увеличивают продолжительность жизни растения, защищают их от травоядных и способствуют снижению скорости разложения их опада. Явление снижения доступности элементов питания растениями, формирующими опад низкого качества (кислый, с низким содержанием элементов питания и высоким содержанием танина и лигнина), может быть связано с накоплением в их живых тканях фенолов, «отпугивающих» травоядных. Положительная корреляция между скоростью потери биомассы, потенциальной скоростью роста и способностью к разложению, наблюдаемая обычно у растений, отражается на действии, которое растения оказывают на динамику органического вещества и минерализацию элементов питания. Эти свойства растений оказывают влияние не только на почвенное плодородие, но и определяют результат конкуренции между растениями, если запас элементов питания изменяется в процессе сукцессии. Виды растений, которые способны замещать другие виды после возрастания минерализации элементов питания, способны далее ускорять минерализацию. Такие воздействия значительно ускоряют изменения в составе видов в процессе сукцессии бедных элементами питания лесов.

Разнообразие лесов связано с типами гумуса, который они формируют в процессе развития. Лесные экосистемы можно разделить на три группы, существенно различающихся по параметрам биогеохимического круговорота: мор, модер и муль. Растения, характеризующиеся быстрым ростом и продуцированием быстроразлагающегося опада, способствуют созданию среды, благоприятной для развития гумуса не только модер, но и муль (олиготрофный, мезотрофный и эутрофный варианты). Типы гумуса могут изменяться в ходе эволюции, сукцессии лесов и с возрастом древостоя.

Согласно современным представлениям живые организмы являются экосистемными инженерами, создающими все многообразие среды их обитания, включая гетерогенные почвенные условия, что, в свою очередь, способствует увеличению

биоразнообразия. Биоразнообразие лежит в основе экосистемных функций. Леса, являясь важнейшими рефугиумами биоразнообразия и обеспечивая местообитания для более половины известных видов растений и животных, выполняют множество экосистемных функций. Выделяют четыре категории экосистемных функций/услуг: обеспечивающие, поддерживающие, регулирующие и культурные (МЕА, 2005). Поддерживающие и регулирующие услуги относят к экологическим услугам. Примерами поддерживающих услуг являются почвообразование, фотосинтез и круговорот элементов питания, переработка отходов человеческой жизнедеятельности. К регулирующим услугам относят регулирование лесами климата. Леса — центральный компонент биогеохимического круговорота Земли, играющий важнейшую роль в усилении и ослаблении тенденций изменений климата. В лесах сконцентрировано около 50 % мирового наземного запаса органического углерода, лесная биомасса составляет около 80 % наземной биомассы. Две трети глобальной наземной нетто — продукции (первичной) создается в лесах. Важнейшую роль в формировании всех экологических функций лесов играют лесные почвы.

ГИС-МОДЕЛЬ АНТРОПОГЕННОЙ ДИНАМИКИ ЛЕСНОГО ПОКРОВА ЛАНДШАФТОВ РОССИИ

Рожков В.А.¹, Ефремов Д.Ф.², Исаев А.И.³, Седых В.Н.⁴, Соколов В.А.⁴, Швиденко А.З.^{3,5}

¹Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва; ²ДальНИИЛХ, Хабаровск;

³ЦЭПЛ РАН, Москва; ⁴ИЛ СО РАН, Красноярск;

⁵Международный институт прикладного системного анализа, Вена

rva39@mail.ru

Основу модели составляли Ландшафтная и Почвенная карты в масштабе 1:2500000, карты Растительности и Лесорастительного районирования, а также атрибутивные базы данных Государственного учета лесного фонда (1998 г.) и экспертных описаний возможных стадий разного типа сукцессионной динамики лесного покрова.

Предсказание динамики лесного покрова осуществляется средствами экспертной системы, база знаний которой, включает кроме картографических и атрибутивных баз данных систему правил распределения по ландшафтам лесного фонда, отраженного в государственном учете или в выделенной базе данных предприятия. Идея подхода: Использовать и интерпретировать имеющиеся материалы ГУЛ на ландшафтной основе. Для прогноза необходимо иметь актуальное состояние насаждений. Такую информацию можно получить из данных ГУЛ, если распределить их количественно по ландшафтам и сукцессиям. Объектом исследования актуального состояния и возможной динамики лесного покрова с помощью данных ИБКЛ и ГУЛ стал Сургутский лесхоз Тюменской обл. В рамках международного проекта «СИБИРЬ I» была разработана классификация естественных и антропогенных сукцессий лесного покрова в различных ландшафтах (климатогеоморфогенные, пирогенные, биогенные, зоогенные, антропогенные). Учтены генетические особенности сукцессий и все важнейшие показатели, необходимые для их характеристики, в том числе структура и возрастные изменения насаждений.

Пирогенные, биогенные, антропогенные, зоогенные сукцессии описываются при любой доле представленности в ландшафте. Сукцессии, определяемые хозяйственным

воздействием (например, послерубочные), описываются также в том случае, если они в настоящее время отсутствуют, но возможны в течение ближайших 20—30 лет. Остальные типы сукцессии описываются, если занимают 10 и более процентов от площади ландшафта. Также описывают уникальные и важные (с экологической и хозяйственной точки зрения) сукцессии. Описания сукцессий содержат варианты прогнозов развития лесного покрова. Привязка этих описаний к ландшафту суживает многозначность вариантов, но не исключает ее полностью. Особенно это касается выбора начальной точки отсчета, которую можно принять за актуальное состояние насаждения. При оверлее границ лесных предприятий на ландшафтную карту получают пересечения контуров ландшафтов и границ лесхоза. Таким образом, в пределах лесхоза определяют площадь каждого ландшафта и доли всех сукцессий. Этих данных достаточно для прогноза сукцессионной динамики и представления в картографическом виде, диаграммами и гистограммами деления на ландшафты, преобладающие породы, режим увлажнения, преобладающие типы сукцессий, преобладающие стадии, типы вертикальной и возрастной структуры насаждения, состав пород первого и второго ярусов, преобладающие классы бонитета, запасы древесины.

**СЕКЦИЯ 1. ГЕНЕТИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ
ЛЕСНЫХ ПОЧВ**

ЛЕСНЫЕ ПОЧВЫ САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ

Абакумов Е.В., Гагарина Э.И.

СПбГУ, Биолого-почвенный факультет, Санкт-Петербург; ИЭВБ РАН, Тольятти
e_abakumov@mail.ru

Самарская область находится на стыке нескольких природных зон — лесной, лесостепной, степной. Бореальные экосистемы здесь соседствуют с суббореальными, разнообразие почв увеличивается благодаря неоднородности геогенных условий. Среди лесных почв преобладают серые и темно-серые почвы, но существует также много почвенных ареалов, занятых редкими или уникальными почвами.

Проведенные работы по разработке реестра охраняемых почв Самарской области (прототип Красной книги почв этого Субъекта РФ) позволили выявить их существенное разнообразие. Наибольший массив лесных почв, подлежащих охране, приурочен к ландшафту Самарской Луки. Под реликтовыми сосняками Жигулевских гор формируются органоаккумулятивные темногумусовые почвы, карболитоземы и карбопетроземы, а также сухоторфяные карболитоземы. Реликтовые среднеголоценовые липняки северных склонов Жигулей — место локализации редких для центра Русской равнины буроземов (в том числе, буроземов темных), формирующихся в условиях местной аномалии климата. На плато Самарской Луки под мелколиственными лесами распространены серые и темно-серые почвы, приуроченные к делювиям, а также дерново-подзолистые почвы и дерново-подзолы на отложениях юрского возраста различного гранулометрического состава. В межгорных долинах Самарской Луки встречаются темно-серые почвы со вторым гумусовым горизонтом. Пойменные леса Самарской Луки — участки распространения аллювиальных серо- и темногумусовых почв, а также стратоземов. В Высоком Заволжье в качестве почвообразующих пород доминируют красноцветные пермские породы тяжелого гранулометрического состава. В сохранившихся участках широколиственных лесов плато обнаруживаются темно-серые и серые почвы, относящиеся к родам краснопрофильных почв и характеризующиеся укороченным текстурно-дифференцированным профилем. Эти ареалы почв на красноцветных породах требуют охраны как исчезающие и редкие. Островные боры Самарской области — место распространения почв легкого гранулометрического состава. Наибольшие массивы таких почв приурочены к Красносамарскому бору и той части Бузулукского бора, который относится к Самарской области. Помимо слабоподзоленных песчаных почв здесь широко распространены серогумусовые органоаккумулятивные почвы. Эти же почвы характерны для Тольяттинского соснового бора и других участков островных боров области. В Низменном Заволжье снижаются площади лесных массивов, участки распространения лесных почв приурочены в основном к пойменным лесам. В Сыртовом Заволжье устойчивые ареалы лесных почв почти отсутствуют.

Ареалы лесных почв в Самарской области подвержены существенному антропогенному риску, в частности существенное влияние на них оказывают катастрофические пожары, разработка карьеров, атмосферное загрязнение. В то же время почвы лесных экосистем Самарской области — уникальная часть природного каркаса бореально-суббореального экотона Среднего Поволжья, представленная самыми разнообразными отделами и типами почв, в связи с этим необходимо усиление практических мер по охране лесных почв.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 12-04-33017_мол-а-вед.

ЦИФРОВАЯ ВЕРСИЯ ПОЧВЕННОЙ КАРТЫ КАРЕЛИИ МАСШТАБА 1:500 000

Ахметова Г.В., Бахмет О.Н.
ИЛ КарНЦ РАН, Петрозаводск
akhmetova@krc.karelia.ru

В последние десятилетия в практику научных исследований активно внедряются ГИС-технологии. Накопленный материал в виде бумажных карт из-за ветхого состояния и ограниченных возможностей использования может утратить свое значение. Поэтому в настоящее время очень актуальна проблема перевода картографических источников в цифровой вариант (Рухович и др, 2012). Интенсивные работы в нашей стране ведутся в направлении оцифровки листов Государственной почвенной карты масштаба 1:1 000 000. (Симакова и др., 2012). Рассматриваются проблемы и пути совершенствования создания цифровых версий различных почвенных карт (Симакова, 2008), создание банка атрибутивной базы данных, обсуждается необходимость их коррекции и дополнения.

В послевоенные годы сотрудниками Карело-Финской научно-исследовательской базы АН СССР О.Н. Михайловской и Е.И. Перевозчиковой совместно с сотрудниками Почвенного института им. В.В. Докучаева и Центрального музея почвоведения была составлена почвенная карта Карелии масштаба 1:500 000. Данная карта в настоящий момент является самой подробной почвенной картой региона, на ней выделены почвы в основном на родовом уровне, а также показан их гранулометрический состав. К сожалению, данная карта находится в крайне ветхом состоянии, и остро встает вопрос о ее сохранении и дальнейшем использовании.

Целью данной работы являлась подготовка цифровой версии почвенной карты Карелии масштаба 1:500 000 и корреляция ее легенды в региональной (Морозова, 1991) и национальной (2004) почвенных классификациях.

На начальном этапе была проведена подготовка к векторизации карты — сканирование и регистрация ее листов. В оригинальном варианте карта состоит из 6 листов, склеенных между собой. Для того чтобы было меньше искажений, было решено регистрировать каждый лист отдельно. Векторизация проводилась в ручном режиме с помощью программного продукта MapInfo Professional. В результате проведенных работ подготовлен векторный слой почвенной карты Карелии, состоящий из 19 345 полигонов.

Следующим этапом работы было создание и заполнение фактической информацией атрибутивной базы данных векторного слоя. В нее заносилась информация, которая содержалась на карте — название почвы, ее индекс, гранулометрический состав, почвенные комплексы. Для удобства пользования также были введены числовые коды (код почвы, код гранулометрического состава). Проблема при заполнении атрибутивной базы заключалась в идентификации почв по цвету, что связано с длительным хранением карты и выцветанием бумаги. Уточнение почвенных контуров проводилось по буквенным индексам. Важным этапом создания цифровой версии карты являлась корректировка гидрографической сети. За прошедшие полвека контуры водных объектов и береговых линий были существенно уточнены, и векторизованные почвенные контуры плохо состыковывались с современной гидрографической сетью. Была проведена корректировка береговых линий и, соответственно, контуров, прилегающих к ним почвенных выделов. Корректировка береговых линий гидрографических объектов проводилась только для крупных водоемов (более 10 км²).

Необходимы также оказались работы по корректировке блока болотных почв. Это связано с тем, что после 1955 г., в Карелии были проведены масштабные исследования болотных массивов, в результате чего были значительно изменены контуры болот, уточнена их классификация. Кроме того, цвета на карте были поблекшими и не совпадали на разных частях карты, поэтому проводились дополнительные работы по идентификации выделов болотных почв.

Первоначальная легенда, приведенная для карты, О.М. Михайловской, также требовала тщательного пересмотра и корректировки с соответствии с современными почвенными классификациями. Один вариант легенды создан на основе региональной почвенной классификации (Морозова, 1991), второй подготовлен на основе новой национальной (Классификация ..., 2004). Оригинальная легенда почвенной карты Карелии включает зональные почвы, разделенные по степени увлажнения на подзолистые и подзолисто-болотные. Выделены также блоки болотных, дерновых, аллювиальных, слаборазвитых и горных почв. В легенде карты приведены сведения о происхождении почвообразующих пород и особенности гранулометрического состава почв, которые даны соответствующими обозначениями — штриховкой различного вида. Проведенная корреляция легенды почвенной карты Карелии и таксономических единиц региональной классификации (Морозова, 1991) значительно изменила положение многих почв. Появился ряд почвенных единиц, классификационное положение некоторых было уточнено, отдельные контуры были объединены.

Новая российская классификация почв (Классификация ..., 2004) не является официально рекомендованной как в практике картографических исследований почв, так, и для выполнения научных работ. Однако, в последние десятилетия, появилось много новых разработок в области диагностики и классификации почв, которые не могут быть отражены на почвенных картах с использованием классической классификации почв 1977 г. (Классификация ..., 1977). Так, в новой классификации предусмотрено детальное разделение антропогенно преобразованных почв. Однако, в современной почвенной карте Карелии (М 1:500 000) контуры таких почв требуют существенного уточнения, так как за прошедший период характер и степень антропогенного воздействия в различных частях республики значительно изменились. После проведенной редакции контуров таких почв будет уточнено их классификационное положение.

Проведенная корреляция легенды почвенной карты Карелии в региональной классификации и новой классификацией почв России показала, что многие ранее детально проработанные контуры почв при использовании новой классификации объединяются не только на высоком таксономическом уровне (ствол, отдел, тип), но и на уровне подтипа. Дальнейшее разделение почв на родовом уровне, на котором учитывается степень насыщенности почвенного поглощающего комплекса, на карте масштаба 1:500 000 не представляется возможным.

Созданная цифровая почвенная карта Карелии масштаба 1:500 000 имеет большое научное и практическое значение. Она позволяет более полно оценить характер почвенного покрова территории, расширить доступ к имеющейся информации, дает дополнительные возможности для ее анализа, а также внесения различного рода изменения и дополнения в ее содержание. Проведенная корреляция легенды полученной карты с новой российской классификацией дает возможность сравнить особенности почв и почвенного покрова региона с другими территориями.

Литература

1. Классификация и диагностика почв России. 2004. 343 с.
2. Классификация и диагностика почв СССР. М., 1977. 224 с.
3. Цифровая тематическая картография как смена доступных первоисточников и способов их использования // Цифровая почвенная картография: теоретические и экспериментальные исследования. Сборник статей. М.: 5. Почвенный институт им. В.В. Докучаева. 2012. С.58-86.
6. О содержании, принципах и приемах оформления почвенных карт //
7. Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2008. №61, С. 3-11.
8. Цифровая версия государственной почвенной карты масштаба 1:1 млн, проблемы и решения // Почвоведение. 2012. №4, С. 387—397.

О ГЕНЕТИЧЕСКИХ И КЛАССИФИКАЦИОННЫХ ВОПРОСАХ В ОБЛАСТИ ЛЕСНЫХ ПОДСТИЛОК

Богатырев Л.Г., Малинина М.С., Телеснина В.М.,
Погожева Е.А., Самсонова В.П., Акишина М.М.
МГУ имени М.В.Ломоносова, Факультет почвоведения, Москва
pogozhevaea@mail.ru

К научному наследию Л.О. Карпачевского и А.С. Владыченского, несомненно, еще будут долгое время обращаться почвоведы разных направлений, включая горное и лесное почвоведение. Оба исследователя внесли существенный вклад в понимание роли почвы в структурно-функциональной организации лесных экосистем в различных регионах — от Кавказа и Тянь-Шаня — до Дальнего Востока и Камчатки. Не этим ли объясняется та широкая эрудиция, которой характеризовались оба исследователя, в чем мог убедиться каждый коллега при личной или заочной беседе с ними. Историкам почвоведения еще предстоит описать и оценить вклад, который внесли наши уважаемые коллеги в развитие почвоведения в нашей стране.

В настоящем сообщении обсуждены некоторые вопросы генезиса и классификации подстилок. Это как раз те проблемы, которые неоднократно поднимались в работах Л.О. Карпачевского и А.С. Владыченского. Несмотря на тривиальность тезиса о важности лесной подстилки в лесных биогеосистемах, она, по словам классика лесного почвоведения Г.Ф. Морозова, по-прежнему «хранит еще много лесных тайн». Эти тайны последовательно раскрываются прямо пропорционально детальности исследования подстилок, предусматривающей в первую очередь исследование гетерогенности лесных подстилок, включающей в себя изучение компонентного и фракционного состава.

Второе направление — это исследование формирования гумусовых веществ. При всех многочисленных публикациях по-прежнему сохраняется дискретность перехода — от лигно-целлюлозных соединений в подстилке к собственно гумусовым горизонтам лесных почв. Одними из немногих интегральных показателей, описывающих континуальность перехода, является отношение углерода к азоту. Возможного прорыва следует ожидать от слежения за рядом биохимических характеристик, детализирующих превращение органического вещества в системе подгоризонтов подстилки и нижележащей минеральной толщи.

Однако не потеряли своей актуальности и классические экологические характеристики. Так, например, по последним данным оказалось, что на мертвопокровных

участках в условиях южной тайги обнаруживается наиболее высокое разнообразие экологических групп растений по сравнению с подкрановыми и междкрановыми пространствами. Это обеспечивает, возможно, последующий более разнообразный выбор органических соединений, участвующих в образовании гумусовых веществ. В сочетании с повышенным поступлением со стволовыми водами макро- и микроэлементов это, вероятно, может рассматриваться как одна из многих причин формирования здесь не только более высокоорганизованной системы горизонтов подстилки O1-O2-O3, но и резкого превалирования последней над другими горизонтами. Это, как правило, не обнаруживается в междкрановых пространствах.

Вопросом классификации подстилок задавался еще С. Ваксман в своем классическом произведении «Гумус». Использование в качестве основы для классификации подстилок типологии лесного гумуса не принесло оптимального результата не только в силу первоначальной географической ограниченности типологии лесного гумуса, но и ее другой смысловой нагрузки. Относительно трудна в реализации классификация Прусинкевича, на которую довольно часто ссылался Л.О. Карпачевский в силу необходимости диагностики характера увлажнения, что весьма проблематично, так как в этой классификации не указываются диагностические критерии.

В наших публикациях мы последовательно отстаиваем вслед за С.В. Зонном положение о самостоятельности классификации подстилок, основанной на исключительно морфологических признаках. Если выделение типов деструктивных, ферментативных, гумифицированных и перегнойных подстилок вполне себя оправдало, то диагностика торфянистых и торфяных подстилок явно характеризовалась слабостью диагностических критериев. Дополнительный и притом существенный материал неожиданно был получен при решении двух задач. Совместно с А.В. Смагиным и благодаря его расчетам, было установлено, что основная доля дыхания приходится на верхние 20—25 см почвы. Эта величина, несущая уже функциональную нагрузку, и была положена в основу разделения торфянистых и торфяных почв. Дополнительно в рамках общей концепции детритогенеза по М.А. Глазовской нами было предложено понятие детритопрофиль, благодаря которому не нарушается общая цельность одновременной группировки детритопрофилей, развивающихся в различных экологических условиях — от автоморфных — до гидроморфных.

Вторая задача — диагностика торфянистых и торфяных детритопрофилей относительно была решена при детальной проработке почти 1000 описаний, полученных для Дальнего Востока и Приморья. Оказалось, что строение торфянистых и торфяных детритопрофилей укладывается в несколько важнейших групп. Первая группа — это обычные торфянистые или торфяные детритопрофили (ДП) без наличия в профиле сильно разложившихся горизонтов. Вторая группа — ДП с наличием в профиле сильно разложившегося торфа, названные нами торфянисто- или торфяно-консервированными. Третья группа — в ней ДП имеют в профиле перегнойный горизонт и названы торфянисто- или торфяно-перегнойными. Четвертая группа — это ДП, имеющие в профиле последовательность очень слабо и среднеразложившихся горизонтов, сменяющихся сильно разложившимся торфом и затем перегнойным горизонтом. ДП этой группы получили название торфянисто- или торфяно-консервировано-перегнойные. Последние слова могут меняться местами в зависимости от их преобладания в профиле. Оказалось, что все ДП отлично укладываются в предложенную систему. Установлено, что типы ДП хорошо коррелируют с типологией леса и экологическими условиями. Дополнительно было установлено, что наибольшее разнообразие типов ДП характерно

для лиственничников, затем идут ельники, и наименьшее разнообразие, как и следовало ожидать, наблюдается для сосняков и болотных экосистем.

Одним из важнейших последних исследований явилось установление двух групп закономерностей. Первая группа относится к явлению миграции южно-таежных типов детритопрофилей в более северные регионы, что обнаруживается, например, для севера Архангельской области, в ландшафтах с распространением карбонатных пород. Вторая группа закономерностей относится к определенной смене центров гумусообразования в системе сопряженных геохимических ландшафтов по мере движения на север от таежной зоны. Показано, что если в южно-таежных ландшафтах благоприятное гумусообразование обычно приурочено к автоморфным ландшафтам, то в условиях северной тайги эти центры смещены к транзитным ландшафтам, тогда как автоморфные позиции представлены или заболоченными почвами, или подзолами. В условиях типичных тундр благоприятными центрами в этом отношении служат транзитно-аккумулятивные ландшафты с проточным увлажнением и благоприятным прогреванием в летний период. Таким образом, исследования в области генезиса и классификации лесных подстилок и определение географических закономерностей их распространения позволяют создать хорошую базу для картографического отображения типов детритопрофилей. Это будет являться дополнительным шагом вперед на фоне уже имеющихся достижений в области познания поведения углерода в наземных экосистемах.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ
в рамках научного проекта № 13-05-00542.*

МИКОГОРИЗОНТ В ПИХТОВО-ЕЛОВЫХ ЛЕСАХ НА ГОРНОМ ПЛАТО (ПРИМОРСКИЙ КРАЙ)

Бутовец Г.Н., Гладкова Г.А.
БПИ ДВО РАН, Владивосток
butovets@ibss.dvo.ru

Пихтово-еловые леса, образуемые елью аянской (*Picea jezoensis* (Siebold et Zucc.) Carr.) и пихтой белокорой (*Abies nephrolepis* (Trautv.)), в Приморье произрастают в пределах низкогорных и среднегорных хребтов, а также на эффузивных плато, широко представленных на Сихотэ-Алине. Наиболее обширное плато, покрытое в основном пихтово-еловыми лесами, расположено в истоках рек Бикин, Малая Светлая, Большая Пея, Кабанья (46°47' с.ш., 137°54' в.д.).

Плато представляет собой постепенно повышающуюся к центральной водораздельной части Сихотэ-Алиня относительно ровную местность, рассеченную глубоко врезанными долинами водотоков; оно служит водоразделом рек, впадающих в р. Уссури, и рек, относящихся к бассейну Японского (высота над уровнем моря — 700—1000 м).

В условиях нормального или слабо сдержанного водообмена под пихтово-еловыми лесами на элювии андезибазальтов формируются ржавоземы грубогумусированные, а на участках с затрудненным водообменом чаще всего встречаются ржавоземы грубогумусовые глееватые.

Облик пихтово-еловых фитоценозов на плато определяется почвенно-гидрологическими условиями. На дренированных местообитаниях произрастают леса, относящиеся к зеленомошной группе типов леса; при ухудшении дренированности почв

они замещаются моховыми пихтово-еловыми группировками; по более теплым и дренированным местам редко встречаются папоротниковые пихтово-еловые леса. Условия увлажнения и степень дренированности почв в условиях выровненного рельефа плато очень мозаичны, что проявляется в мозаичности растительного покрова, в чередовании микрогруппировок, отражающих разную степень и характер увлажнения местообитаний; малейшие слабозаметные изменения в микрорельефе могут вызывать изменения в нижних ярусах растительности.

Почвам свойственна высокая биологическая активность. В корнеобитаемой зоне в них хорошо развит грибной мицелий. Г.И. Иванов (1961) в почвах пихтово-еловых лесов бассейна озера Кизи впервые описал своеобразный грибной горизонт, располагающийся под слоем мхов и представляющий собой пористую органическую массу пепельного цвета мощностью 4-5 (10) см. Аналогичные «грибные» горизонты обнаружены под усыхающими пихтово-еловыми лесами в левобережном Приамурье (Манько, 1965; Говоренков, 1966), на острове Феклистов С.Д. Лыковой (Еловые леса ..., 1984) и в Центральном Сихотэ-Алине (Гладкова, 1997; Бутовец, 2002).

Микогоризонт пепельно-серого или белесо-серого цвета состоит из слоя разросшихся гифов, залегающих на органо-аккумулятивных горизонтах, имеющих пирогенное происхождение (время прохождения пожара около 180—200 лет). Он представляет собой упругий сложно переплетенный слой, внутри которого встречается пятнами бурая органическая масса переработанной подстилки, и редко тонкая порошистая белая присыпка. Мощность этого горизонта от 5 до 12 см.

Микогоризонт обнаруживается под сплошным моховым покровом и рыхлой подстилкой в лесу или на вырубках под задернованной подстилкой.

Мицелий двух типов: 1 — гриб из класса Базидиомицетов (мицелий с пряжками). Это может быть как любой микоризный гриб, так и возбудитель усыхания типа корневой кубки (*Fomitopsis annosa*) или *Armillaria mellea* (Vahl) P. Kumm., или любой другой. В пользу наличия *A. mellea* говорит то, что на свежих вырубках даже на пнях молодых деревьев ели обычно во второй половине сентября в массе появляются их плодовые тела. 2 — Гриб из класса Фикомицетов (неклеточный мицелий), это может быть любой почвенный гриб из порядка Mucorales. В микогоризонте преобладают гифы гриба первого типа.

Элементы, входящие в состав микогоризонта, в порядке убывания могут быть представлены следующим образом:



Уникальностью этого биогоризонта является аккумуляция Al — 8.32, Ti — 2.90, Fe — 2.15 (% от золы); Zn — 100, Ni — 50, Co — 31, Mn — 400, V — 83, Cr — 100, Pb — 50, Li — 24, Cu — 15 (мг·кг⁻¹ от золы). Такое обогащение породообразующими элементами может быть обусловлено и тем, что мицелий содержит большое количество минеральных почвенных частиц. Кларки концентрации Ti, Pb, Co, Zn и Al соответственно равны — 6.4; 3.1; 1.7; 1.2; 1.0.

Сплошной моховой покров в лесных сообществах выступает в роли основного регулятора гидротермического режима подстилки и верхних слоев почвы. Мхи сглаживают амплитуду колебания влажности субстрата, оказывают благоприятные условия для развития мицелия и плодоношения подстилочных сапрофитов. Влияние термического режима на развитие грибного мицелия тесно связано с влажностью субстрата.

По основным физическим свойствам подстилка и микогоризонт под пихтово-еловыми лесами не имеют резких различий. Для них характерны низкие значения плотности сложения (0.04—0.11 г/см³); высокая порозность (94—97%); плотность

сложения твердой фазы не превышает 1.5 г/см³. Из всего объема, занимаемого подстилкой и грибным горизонтом, только 4—8% приходится на твердую фазу, остальное пространство занято водой и воздухом.

Мощный моховой покров и влагоемкая подстилка обеспечивают поглощение и инфильтрацию талой и атмосферной воды. Влажность подстилки в летнее время может превышать 300% от сухой массы. В первый час наблюдений водопроницаемость подстилки, как и грибного горизонта, характеризуется как провальная. За короткий промежуток времени подстилка и грибной горизонт способны впитывать и удерживать большое количество влаги внутри себя. Подстилка обладает значительной влагоемкостью, но слабой водоудерживающей способностью, что приводит к потере влаги. Микогоризонт обладает высокой влагоемкостью и водоудерживающей способностью его значительно выше, чем у подстилки, а это часто приводит к оглеению верхних почвенных горизонтов.

Характер микобиоты в почве отражает определенную экологическую ситуацию в экосистемах, так, например, изменение растительного и почвенного покрова в связи с пожарами приводят к изменению грибных сообществ. Так на участках пихтово-еловых лесов, пройденных недавними пожарами, микогоризонт не обнаруживается.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПОЧВЕННЫХ ОБРАЗЦОВ ПО АГРОХИМИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ В ДИНАМИКЕ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ В ВЫСОКОГОРНОЙ ЗОНЕ РЕСПУБЛИКИ ДАГЕСТАН

Гамзатова Х.М.
ДГУ, Махачкала
xalim.1980@mail.ru

Биологическое разнообразие почв — общепринятое понятие современной биологии, нуждающееся в научном обосновании и выделении основных критериев. Отдельные авторы выделяют видовое разнообразие, генетическое разнообразие, разнообразие по глубине распространения корневой системы растений и почвенной фауны.

В наших исследованиях биоразнообразия почв рассматривается как разнообразие взаимодействий между свойствами почвенного профиля (выщелачивание, засоление) и отдельными факторами почвообразования. Важнейшей частью разнообразия почв является генетическое разнообразие, т.е. формирование систематических единиц отличающихся изменчивостью и природной динамикой почвенных процессов. Внутритиповые изменения свойств почв непосредственно связанных с воздействием организмов представляют эволюционный процесс формирования состава и структуры почвенного покрова.

Этот процесс имеет особые отличия в горных условиях формирования лесных почв с определенной классификационной принадлежностью. Недостаточно изученной остается разнообразие почв и степень влияния отдельных классификационных единиц на распределение корневой системы растений, видового их разнообразия, и формирования их продуктивности, устойчивости.

Учитывая эти особенности в пределах исследуемого региона, выделены следующие типы почв, отличающиеся по биологическому разнообразию и спецификой антропогенной динамики. Почвообразующие породы высокогорной части подчиняются

закону вертикальной зональности. Нижние отметки (высотные отметки, м) распространения основных типов почв по экспозициям склонов (по С.У. Керимханову, 1976 г.).

Важным свойством почв и почвообразующих пород является их скелетность, т.е. содержание камней и щебня различной крупности в почво — грунтах. Таким образом, разнообразие факторов почвообразования обусловила мозаичность и неоднородность почвенного покрова, главной чертой которого является ярко выраженная эрозионность.

Леса играют важнейшую почвозащитную противозэрозионную роль. Исследования проводились в лесах сосны Коха на территории Цунтинского лесхоза. Были заложены временные пробные площади в культурах сосны, имеющих возраст от 30 до 110 лет. Месторасположение пробных площадей — хребет Богосский. Всего заложено два пробных площадей. На каждой пробной площади был сделан почвенный разрез с взятием почвенных образцов для последующего химического анализа. Анализ почвенных образцов показывает, что почвы от поверхности до глубины 10 см в исследованных культурах относятся к достаточно высоко гумусным. Содержание гумуса от 4.4 до 5.6%. Содержание таких питательных веществ как фосфор и калий в этом слое достаточно высокое.

ПОЧВЫ НА КАРБОНАТНЫХ ПОРОДАХ СЕВЕРНОГО УРАЛА: РАЗНООБРАЗИЕ, ГЕНЕЗИС, КЛАССИФИКАЦИЯ

*Жангуров Е.В., Дубровский Ю.А.
ИБ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар
zhan.e@mail.ru*

В предгорной увалистой полосе Северного Урала среди преобладающих ледниковых «кварц-алюмосиликатных» отложений особое место занимают локальные выходы плотных карбонатных пород на дневную поверхность. Наибольшие выходы приурочены к склонам речных долин р.р. Илыч, Печора, где они достаточно часто формируют живописные скальные обнажения высотой до 10—30 м и протяженностью 100—200 м. Сведения о морфолого-генетических особенностях почв и растительного покрова таких участков фрагментарны и единичны.

Цель работы — охарактеризовать основные типы почв на карбонатных почвообразующих породах под различными типами растительных сообществ и определить классификационное положение согласно «Классификации и диагностики почв России» (2004).

Район исследований расположен на территории Печоро-Илычского государственного биосферного заповедника, в бассейне среднего течения р. Илыч (63°33' с.ш.; 58°06' в.д.). Разрезы для характеристики почв закладывали в условиях облесённых приречных склонов (150—180 м над ур. м), в местах близкого подстилания и отдельных выходов коренных карбонатных пород и сопровождали детальными геоботаническими описаниями растительности. Физико-химические свойства почв определяли по стандартным методикам (Воробьева, 2006).

Почвообразующие породы представлены элювиально-делювиальными мелкоземисто-щебнистыми продуктами выветривания ниже-среднекаменноугольных известняков, прикрытых сверху рыхлым плащом четвертичных отложений (Жангуров и др., 2011). Обломки карбонатных пород в них представлены различными вариантами детритовых известняков и известковых брекчий, имеющих серую и коричневатую-серую окраску.

Почвы на карбонатных породах отличаются как от «зональных» аналогов, так и друг от друга в зависимости от эколого-фитоценологических и литолого-геоморфологических условий (щебнистость, крутизна склона, глубина подстилания породы). Ниже охарактеризованы наиболее часто встречающиеся типы почв.

Отдел органо-аккумулятивных почв. Тип почвы — серогумусовые остаточно-карбонатные. Формируются под еловыми сообществами травяной группы типов леса, принадлежащими к ассоциации ельник папоротниковый. В древесном ярусе доминирует ель, заметна примесь пихты, наблюдается активное возобновление ведущих древесных пород. В травяно-кустарничковом ярусе доминируют *Dryopteris expansa*, *Aconitum septentrionale* и *Oxalis acetosella*.

Профиль почвы: O(0—3 см)-AY(3—10 см)-AYB(10—30 см)-BC_{Ca}(30—45 см)-C_{Ca}(45—60 см). Под хорошо разложившейся одернованной подстилкой формируется серогумусовый горизонт AY — темно-коричневый, местами интенсивно черной окраски легкий суглинок с комковато-зернистой структурой. С глубиной интенсивность окраски падает, и срединные горизонты имеют коричневатую-светло-серую окраску, слабо выраженную комковатую структуру, с низким содержанием корней. В почвенном профиле скелетно-грубообломочная часть закономерно увеличивается с глубиной и постепенно переходит в подстилающие блоки и/или крупные обломки коренных карбонатных пород. Мощность профиля — 50—60 см. Почвы имеют слабокислую реакцию верхних и срединных горизонтов, значение pH (вод.) лежит в интервале 5.5—6.5; в нижних карбонатных горизонтах она нейтральная. Распределение гумуса по профилю носит аккумулятивный характер с максимальным его накоплением в серо-гумусовом горизонте AY (до 21%), с постепенным уменьшением вниз по профилю до 8—5%. Высокое содержание в нижних горизонтах валовых форм CaO, MgO и обменных катионов Ca²⁺ и Mg²⁺ связано с карбонатностью пород. По валовому химическому составу дифференцированы слабо, в верхних горизонтах по сравнению с породой происходит относительное накопление SiO₂, в нижних карбонатных горизонтах увеличение полуторных оксидов Fe₂O₃ и Al₂O₃.

Отдел — литоземы. Тип почвы — литоземы серогумусовые остаточно-карбонатные. Почвы описаны под пологом пихтарников костянично-зеленомошных (асс. *Abietetum saxatili ruboso-hylocomiosum*). В составе древостоя обычно выражены два полога из пихты с примесью березы и ели. Высота деревьев основного полога 16—18 м, диаметр стволов — 24—28 см. Травяно-кустарничковый ярус средней густоты (покрытие 40—60%) с ярко выраженным доминированием костяники (*Rubus saxatilis*) и заметным обилием папоротников (*Gymnocarpium dryopteris*). Напочвенный покров сплошной, представлен ковром из зеленых мхов (*Hylocomium splendens*, *Pleurozium schreberi* и др.).

Профиль почвы: O(0—8 см)-AY/AYB(8—12 см)-BC_{Ca}(12—27 см)-C_{Ca}(27—35 см). Под плохоразложившейся оторфованной подстилкой формируется серогумусовый горизонт, который сменяется мелкоземисто-щебнистой толщей плотных пород, представленных полибиокластовыми известняками. По физико-химическим свойствам почвы отличаются высокой кислотностью, с максимумом в горизонте AY (pH вод. 4.2), величина гидролитической кислотности в органогенных горизонтах достигает 45—60 ммоль/100 г почвы, обменная кислотность обусловлена алюминием, постепенно убывает с глубиной. Валовой химический состав мелкозема дифференцирован слабо, характерно относительное увеличение в подстилающих горизонтах валовых форм CaO и MgO.

Отдел — альфегумусовые почвы. Тип почвы — подбуры оподзоленные иллювиально-железистые остаточно-карбонатные. Приурочены к ландшафтам, подвергающимся плоскостной эрозии, в результате чего карбонатный горизонт приближается к дневной поверхности (скальные выходы карбонатных пород геологического памятника природы Лек-Из). Это живописная группа скал с протяженностью выходов около 200 м. Сложены мощными, поставленными на голову пластами известняков, образующими отвесные скальные выходы. В растительном покрове представлены березняки зеленомошного типа (асс. *Betuletum vaccinoso-rubosohylocomiosum*). Древостой одноярусный (высота 6—12 м, диаметр стволов 4—12 см), доминирует *Betula pubescens*. В подросте береза замещается елью. В слабо сомкнутом травяно-кустарничковом ярусе доминируют *Vaccinium vitis-idaea*, *V. myrtillus*, *Rubus saxatilis*. В сомкнутом мохово-лишайниковом ярусе помимо типичных зеленых мхов заметную роль играют лишайники из рода *Cladonia*.

Профиль почвы: O(0—3 см)-BFe(3—5 см)-BF1(5—10 см)-BF2(10—15 см)-BC_{Ca}(15—30 см)-C_{Ca}(30—40 см). Для данной почвы характерна высокая кислотность по всему профилю, особенно кислыми являются подстилка (pH сол. 4.3) и подзолистый горизонт (pH сол. 3.2), низкая степень насыщенности основаниями. Распределение илистой фракции и физической глины, поглощенных оснований и валовых форм SiO₂, Al₂O₃ и Fe₂O₃ по профилю имеет четкий элювиально-иллювиальный характер.

Работа выполнена при финансовой поддержке проектов РФФИ, №11-04-00885 и проекта ОБН РАН, № 12-Т-4-1006.

ПОЧВЫ ВЕТЛЯНИКОВ НИЗОВЬЕВ ДЕЛЬТЫ ВОЛГИ

Жужнева И.В., Малов В.Г.

Астраханский государственный заповедник, Астрахань
i.zhuzhneva@gmail.com

Ивовые леса в низовьях дельты Волги представляют коренной тип древесной растительности и являются одним из важных компонентов водно-болотных ландшафтов пустынной зоны, создавая их неповторимый облик и выполняя целый ряд экологических и природоохранных функций, в том числе средообразующую, берегоукрепительную, почво- и водоохранную. Они определяют особые условия местообитания живых организмов, поддерживая ландшафтное и биологическое разнообразие этой уникальной территории.

Леса здесь относятся к категории защитных и охраняются государством. Для оценки условий их произрастания и определения особенностей взаимовлияния древесной растительности и других компонентов природного комплекса на различных этапах эволюции дельтовой суши необходимо изучение почвенного покрова и состояния почв как интегрального показателя функционирования ландшафта.

В ходе решения данной задачи в 2006—2012 гг. нами было проведено почвенное обследование участков произрастания ветляников на территории Астраханского биосферного заповедника, расположенного в низовьях дельты Волги. По площади распространения эти леса занимают доминирующее положение среди древесной растительности. Они представлены различными фитоценозами ивы белой (*Salix alba* L.) — от сплошных молодых зарослей в сообществе с ивой трёхтычинковой (*Salix triandra* L.), покрывающих в устьях водотоков участки

новейшей суши, до ветляников с развитыми кустарниковым и травянистым ярусами на средневозрастных (80—110 лет) островах нижней зоны дельты.

Как правило, ветловые леса на обследуемой территории встречаются на прирусловых валах вдоль основных водотоков, косах и островах-осередках и занимают участки высотой от 0.2—0.3 м до 1.6 м над меженным урезом воды (МУВ). С увеличением высоты поверхности суши постепенно происходит смена ивовой формации. При этом между типом ветляника и почвами, формирующимися при его участии, наблюдается определённая зависимость, обусловленная, главным образом, литолого-геоморфологическими особенностями и возрастом участка произрастания леса.

Так, например, в култушной зоне дельты под самыми молодыми зарослями ивы белой на вновь образовавшихся островах и косах устьевых участков водотоков почвы в классическом понимании ещё не сформированы. Выходящие на дневную поверхность слои современных дельтовых осадков здесь представлены слоистым супесчано-суглинистым оглеенным карбонатным аллювием. С увеличением возраста суши до 20 лет и её высоты над меженью с образованием невысокого (до 0.5 м) прируслового вала на этих участках начинают господствовать ветляники разнотравные и разнотравно-злаковые (канареечниковые) с тростником и формируются аллювиальные болотные иловато-перегнойно-глеевые карбонатные почвы тяжёлого гранулометрического состава. Эти почвы имеют слабо развитый гумусовый горизонт малой мощности (5—7 см) и подстилаются слоистыми супесчано-суглинистыми аллювиальными отложениями с выраженным оглеением. В профиле часто обнаруживается серия тонких прослоек слаборазложившегося растительного опада, перекрытых иловато-пылеватым аллювием.

Дальнейшая эволюция дельтовой суши проявляется на молодых островах нижней зоны дельты (55—80 лет), где на прирусловых участках высотой 0.5—1.0 м над меженью произрастают ветляники разнотравно-злаковые и разнотравно-злаково-осоковые на аллювиальных лугово-болотных карбонатных тяжелосуглинистых и глинистых почвах с ещё слабо сформированным профилем. В верхней части профиля этих почв заметна слоистость, а на глубине более 40 см отмечается оглеение. На прирусловых валах высотой более 0.7 м над МУВ эти почвы часто встречаются под ветляниками-ежевичниками разнотравно-осоковыми с высоким проективным покрытием нижних ярусов. Средневозрастные (80—110 лет) острова нижней зоны дельты на прирусловых участках высотой 1.0—1.6 м над МУВ покрыты ветляниками-ежевичниками осоковыми и злаково-осоковыми. Под этими ивовыми сообществами здесь формируются супесчано-суглинистые аллювиальные луговые карбонатные и насыщенные почвы слоистого и основного подтипов. Слоистые почвы имеют маломощный гумусовый горизонт (5—7 см) комковатой структуры и подстилаются супесчано-легкосуглинистыми тонкослоистыми отложениями с признаками оглеения. В отличие от этих почв разновидности основного подтипа имеют более развитый гумусовый горизонт (15—17 см) с содержанием гумуса более 5%, выраженный переходный горизонт и характеризуются суглинистым гранулометрическим составом верхней части профиля с двухпорядковой комковатой структурой при наличии признаков горизонтальной делимости.

На прирусловых участках средневозрастных островов, омываемых менее проточными водотоками, где почвообразующая толща аллювия накапливалась дольше и характеризуется более тяжёлым составом слоёв, на аллювиальных лугово-болотных

глинистых почвах с хорошо сформированным профилем произрастают ветляники-ежевичники разнотравно-осоковые с участием тростника.

Почвы низинных ветляников практически не засолены водорастворимыми солями. Однако при сезонной миграции солевых растворов может наблюдаться слабое засоление верхних почвенных горизонтов, исчезающее после половодья.

Замечено, что высокая доля гигрофитного разнотравья в травянистом ярусе низинных ветляников часто является индикатором аллювиальных почв болотного и лугово-болотного типов несмотря на возраст суши и высоту её поверхности над межнным урезом воды. В общем, следует указать, что взаимовлияние ветловых фитоценозов и сформированных под их покровом почв в низовьях дельты Волги неравнозначно.

Почвообразующая роль растительности меняется со сменой сообщества, причём с постепенным обсыханием территории возрастает её влияние на формирование органогенных горизонтов почв и их свойства. Основное влияние на почвообразование оказывает травянистая и кустарниковая растительность, корни которой сосредоточены в пределах почвенного профиля. Роль древесного яруса в этом процессе большей частью опосредованная и проявляется через создание особого микроклимата (влажность, освещённость, тепловой режим) как одного из факторов почвообразования, влияющего как на почвенные процессы, так и на развитие нижних ярусов растительного сообщества. Органические остатки, поступающие на поверхность почвы с листовым опадом ивы, лишь частично включаются в процессы почвообразования. Значительная их часть сносится в период половодья в водоёмы дельты, либо быстро минерализуется на воздухе, не достигая верхнего почвенного слоя на хорошо задернованных участках леса.

Влияние почв на состояние древесного яруса ветляников в низовьях дельты, по-видимому, слабо выражено, поскольку на самых ранних стадиях развития ивовых лесов почвы ещё не сформированы, а в дальнейшем быстро развивающаяся корневая система ивы сосредоточивается ниже почвенных горизонтов. Вообще, как известно, поймостойкие виды ив малотребовательны к плодородию почв, будучи более чувствительными к параметрам затопления, содержанию кислорода в корнеобитаемом слое и характеру подстилающих пород. Что же касается травянистого яруса ветляников, то зависимость его состояния от почвенных особенностей участка произрастания леса будет, очевидно, усиливаться в ходе эволюции дельтовой суши с ростом сформированности почвенных горизонтов и профиля в целом.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕТРИТОПРОФИЛЕЙ ПОЧВ ЭКОСИСТЕМ ЮЖНОЙ ЧАСТИ ЯКУТИИ

Земсков Ф.И., Малинина М.С., Богатырев Л.Г.

МГУ имени М. В. Ломоносова, Факультет почвоведения, Москва
philnonstop@yahoo.com

В развитие теории детритогенеза предложено понятие о детритопрофиле, под которым понимается совокупность органогенных горизонтов, сформированных в процессе последовательного преобразования наземного детрита и образующих единый генетический профиль *in situ*, что позволяет анализировать характер распределения органического вещества в широком диапазоне его формирования — от автоморфных — до полугидроморфных и гидроморфных условий.

Исследования, которые включали в себя группировку детритопрофилей, были проведены для лесных экосистем Южной Якутии на основе анализа 160 разрезов. Во-первых, было установлено, что специфика преобразования наземного детрита происходит в условиях распространения многолетнемерзлых пород и горных ландшафтов. Оказалось, что мерзлота охватывает от 44 до 80% экосистем, причем в наибольшей степени это явление было свойственно кедровым стланикам. Рассмотрение соотношения типов фитоценозов и приуроченных к ним детритопрофилей показало, что для лиственничников, наиболее распространенных типов леса, характерна высокая контрастность типологии детритопрофилей. Здесь обнаруживаются деструктивные детритопрофилы, характеризующиеся почти полным отсутствием дифференциации на подгоризонты, а также торфяные группировки. Напротив, такие типы детритопрофилей как ферментативные и гумифицированные обнаруживались в гораздо меньшей степени. Незначительная доля приходится также и на торфяно-консервированные группы детритопрофилей. В этом отношении лиственничники довольно существенно отличаются от других типов леса, что говорит о различной направленности процессов накопления и преобразования наземного детрита. Если говорить о мощности детритопрофилей, то эта величина последовательно возрастает от о деструктивных к торфяно-консервированным разностям, но не превышает 40 см. Установлено, что типология детритопрофилей хорошо коррелирует с типами почв. Так, для подбуров обычно характерны деструктивные типы детритопрофилей, что свойственно и разнообразным дерновым почвам. Для альфегумусовых подзолов закономерно распространение деструктивных подстилок, однако в редких случаях могут обнаруживаться и торфяно-консервированные разности. О низком уровне преобразованности торфа говорит то, что преимущественная роль в условиях распространения почв с явной принадлежностью к почвам торфянистого и торфяного характера принадлежит детритопрофилям со слабой выраженностью процессов консервации торфа, выражающегося в развитии горизонтов с сильно разложившимся торфом. Можно предположить, что это связано с ролью мерзлоты, как фактора, который сдерживает преобразование органического детрита. Показано, что уровень залегания мерзлоты колеблется от 33 до 60 см.

НЕОПОДЗОЛЕННЫЕ ЛЕСНЫЕ ПОЧВЫ СЕВЕРО-ВОСТОКА КОСТРОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Иванов А.В.

МГУ имени М.В.Ломоносова, Факультет почвоведения, Москва
anton.soil@mail.ru

На северо-востоке Костромской области в пределах территории Северных Увалов и прилегающей части Ветлужско-Унженского междуречья на фоне доминирующих по площади альфегумусовых подзолов и дерново-подзолов, формирующихся под пологом сосновых насаждений на флювиогляциальных отложениях днепровского оледенения, значительным распространением пользуются обширные участки неоподзоленных лесных почв. Они обнаруживаются под пологом продуктивных еловых насаждений и представлены темногумусовыми и перегнойно-темногумусовыми органо-аккумулятивными почвами, пруроченными к выходу на поверхность глинистых отложений триасового возраста. Наряду с высокой гумусированностью, эти почвы характеризуются близкой к нейтральной, а в нижней части профиля слабощелочной реакцией среды, высоким содержанием поглощенных оснований и близкой к полной степени насыщенности. Эти свойства почв в значительной мере связаны с особенностями минералогического состава глинистого материала, который во всех случаях характеризуется абсолютным доминированием смектитового компонента. Изучение состава органического вещества методом физического (грануло-денсиметрического) фракционирования свидетельствует о реликтовой гидроморфной природе его образования. При этом формирование современного органо-профиля почвы может рассматриваться как продукт его эволюции в ходе очень постепенного осушения в результате отмечаемого геоморфологами процесса длительного поднятия характеризуемой территории в голоцене, наблюдаемого и в настоящее время.

ЭНЗИМОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ БОЛОТНЫХ ПОЧВ

Инишева Л.И.¹, Порохина Е.С.¹, Головченко А.В.², Ларина Г.В.³

¹ТГПУ, Томск; ²МГУ имени М.В. Ломоносова, Факультет почвоведения, Москва;

³ГАГУ, Горно-Алтайск

inischeva@mail.ru

На территории Сибири организованы болотные стационары «Васюганье» (п. Польшанка, Бакчарский район Томской области), «Таган» (п. Тахтамышево, Томский район Томской области), а также организованы опорные пункты мониторинга горно-алтайских болот в Турочакском районе Республики Алтай — «Турочак». Исследованиями (1986—2011 гг.) охвачены олиготрофные, мезотрофные и эвтрофные болота разного генезиса. Получены научные знания о свойствах и режимах торфяных болот и новые данные о биохимических процессах в торфяных залежах; впервые проведены полнопрофильные биохимические исследования торфяных болот Сибири, которые показали, что торфяной профиль микробиологически активен вплоть до подстиляющей породы. С применением кластерно-аналитического метода исследованы закономерности распределения отдельных групп микроорганизмов в торфяных залежах; изучена кинетика трансформации торфов разного

ботанического состава и построены кривые кумулятивного накопления CO_2 . определен баланс углерода и доказано прогрессирующее заболачивание в пределах таежной зоны Западной Сибири; впервые изучен газовый режим торфяных залежей и оценены величины потоков CH_4 и CO_2 для болотных комплексов Западной Сибири.

Наряду с микробиологическими методами биологическое состояние торфяных болот оценивается на основе активности ферментов. Выяснено, что активность ферментов является даже более устойчивым и чувствительным показателем биологической активности. В данной работе приведем характеристику энзимологической активности торфяных почв разного генезиса.

В торфяном профиле выделяют деятельный и инертный горизонты, по состоянию водного режима. Известно, что точное положение границы между активным и инертным горизонтом всегда является до некоторой степени условным. Согласно нашим исследованиям протекающие в торфяной залежи биохимические процессы создают микрозональность окислительно-восстановительных условий. А отсюда следует, что мощность деятельного горизонта торфяных болот, в том числе и олиготрофных, много больше.

В аэробных условиях (деятельный слой) происходят наиболее существенные изменения легкогидролизуемых веществ, наиболее поддающихся действию микрофлоры. Но гипотезой быстрого завершения торфообразования в верхнем деятельном слое торфяного профиля невозможно объяснить возрастание содержания гуминовых кислот, увеличения степени их обуглероженности, существующий синтез битумов при углублении в торфяную залежь.

Так в верховых торфяных почвах только инвертаза имеет большую активность в верхнем метровом слое, остальные ферменты (нитратредуктаза, каталаза, полифенолоксидаза) распределяются по профилю равномерно. Активность каталазы в торфах верхового болота изменяется от 0.23 до 1.11 мл O_2 за 2 мин. на 1 г. Весьма отчетливо проявляется особенность преобладания ферментативной каталазы (далее ед.), которая достигает 59-87 % от общей, и надо полагать причина заключается в том, что доля минеральных веществ в торфах верховых болот незначительна. Распределение общей активности каталазы по профилю носит неравномерный характер и зависит от ботанического состава торфяного профиля. Так, в слоях, сложенных сфагново-мочажинными торфами, активность каталазы составляет 0.46—0.97 ед., а в слоях, сложенных пушицево-сфагновыми торфами 0.43—0.49 ед. При этом с глубиной наблюдается увеличение активности фермента в аналогичных более разложившихся торфах. Наибольшая активность каталазы (1.11) отмечается в придонном слое залежи, сложенным травяным переходным высокозольным торфом. В торфах низинного болота активность каталазы по сравнению с верховыми значительно выше и составляет 0.78—5.72 ед. Активность полифенолоксидазы (ПФО) изменяется в пределах 0.03—0.87 мг 1.4 п-бензохинона за 30 мин. на 1 г (далее ед.). Распределение активности ПФО по профилю носит неравномерный характер. Это обусловлено, как и в случае с активностью каталазы, чередованием пластов сфагново-мочажинных и пушицево-сфагновых торфов. Сфагново-мочажинные торфа характеризуются низкой активностью ПФО 0.03—0.04 ед. В пушицево-сфагновых торфах микробиологические процессы протекают интенсивнее и активность ПФО достигает 0.65—0.87 ед.

Изучение инвертазной активности торфов показало высокую интенсивность процесса трансформации углеводов (51.21—132.25 мг глюкозы за 4 ч. на 1 г), наибольшая активность которого отмечается в верхнем слое (132.25 ед.).

В низинных торфяных залежах активность протеазы изменяется от 0.0 до 2.12 мг тирозина за 18 ч. на 1 г. Наиболее высокой активностью отличается верхний горизонт (1.06—2.12). С глубиной, по мере распада азоторганических соединений, протеолиз сменяется другой группой ферментов, участвующих на более поздних этапах расщепления этих соединений. Поэтому в нижних горизонтах активность протеазы резко снижается: в слое 50—225 см величина ее составляет 0.01—0.34 ед.

Таким образом, маловероятно, что в глубине торфяного профиля происходит снижение биохимической активности, она скорее становится иной. Высказанная точка зрения подтверждается исследованиями изменения химического состава торфов по профилю. Так, с глубиной в одних и тех же видах торфов снижается содержание водорастворимых и легкогидролизуемых веществ, а содержание гуминовых кислот увеличивается. Эти явления не могут быть случайными, так как образование последних происходит за счет процессов превращения некоторых компонентов легкогидролизуемых веществ.

Это еще раз подчеркивает, что процессы изменения химического состава торфообразователей в анаэробном слое не прекращаются. В глубине залежи вместо микробиологических процессов аэробного характера (в основном гидролиз) продолжают развиваться другие биохимические процессы, способствующие трансформации органических веществ в сторону гумификации.

Таким образом, свойства торфяных почв определяются, прежде всего, ботаническим составом, степенью разложения торфа, а профиль торфяных почв делится на горизонты, мощность которых определяется ботаническим составом. Органическая и минеральная часть торфяных почв — субстантивно-функциональная система, представляющая собой генетически единый почвенный профиль с фиксированной в нем историей их развития. Верхний (деятельный) слой профиля торфяных почв правильнее рассматривать как фрагмент почвенного профиля современной стадии почвообразования. Приняв это за основу, торфяные почвы следует представить как весь торфяной профиль до минеральной породы и как важный компонент глобальной геосферно-биосферной системы. Несомненно, также, что болотообразование — один из главных исторических этапов единого почвообразовательного процесса с момента его появления, а сами почвы уникальны органогенным профилем.

КЛАССИФИКАЦИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ НАУЧНОГО АНАЛИЗА ЛЕСНЫХ ПОЧВ

Лысков И.А., Надпорожская М.А.

СПбГУ, Биолого-почвенный факультет, Санкт-Петербург

igor_lyskov@mail.ru

Классификация как инструмент анализа информации предполагает принятие определенных понятийных границ и масштабов изучения объекта. Классификация почв представляет собой современный итог систематизации фундаментальных научных знаний и базу для будущего развития почвоведения. Научная ценность классификации может не удовлетворять целям прикладного использования, может быть непонятной или неудобной для исполнителей. Генетические классификации почв отдельных стран значительно различаются, поскольку составляются с учетом региональной специфики, пересматриваются и обновляются с развитием научного понимания элементарных почвенных процессов (Добровольский, Трофимов, 1996; Красильников, 1999; Шишов и др., 2004). На фоне

разнообразия национальных генетических классификаций существует классификация, построенная по единому принципу — классификация типов гумусового профиля. Ее разрабатывали многочисленные исследователи за рубежом (Kubiena, 1953; Ehwald, 1956; Wilde, 1958, 1971; Wittich, 1964; Duchaufour, 1975; Klinka, 1981, 1990; Baritz, 2001; Zanella et. al, 2011;) и в нашей стране (Тюрин, Пономарева, 1940; Чертов, 1965, 1966, 1974, 1981).

Цель работы — сопоставление применимости разных классификационных подходов при экологических исследованиях.

Генетические классификации почв объединяет оценка долгосрочных процессов, приводящих к формированию ясно выраженных диагностических горизонтов. При масштабах среднескоростных и медленных почвенных процессов органогенные горизонты оцениваются обобщенно. Для лесных почв важно детальное изучение как органофилия в целом, так и поверхностных органогенных горизонтов. Наибольшая разница в оценке лабильных образований почвы — органогенных поверхностных горизонтов. Рассмотрим подробнее, какие органогенные горизонты были выделены в официальных классификациях в нашей стране.

Классификация 1977 года. Поверхностные органогенные образования, формирующиеся в условиях нормального увлажнения, называли лесной подстилкой (2—10 см, для типа подзолистых почв). Допускали деление на подгоризонты АО', АО'', АО''' по морфологическим свойствам (цвет, сохранность первичных элементов опада, степень разложения). Количественные оценки по физико-химическим свойствам не применяли. В типах торфянисто-подзолистых, лугово-болотных и болотных почв выделяли оторфованный (10—15 см), торфянистый (10—30 см) и торфяный (30—50 см) горизонты.

В классификации почв России 2004 г. допущено важное терминологическое изменение. Лесной подстилкой названо «напочвенное органогенное образование, не являющееся генетическим горизонтом и не имеющее диагностического значения», а именно свежий растительный опад из не- или слабо разложившихся остатков листьев, хвои, мелких веток и др. (Шишов и др., 2004, стр. 18). Органогенные напочвенные образования, сформировавшиеся в течение длительного времени, отнесены к генетическим горизонтам: грубогумусовый — АО; перегнойный — Н; подстильно-торфяный — О; торфяный — Т и ТJ — сухоторфяный (на минеральных горизонтах); ТО — олиготорофно-торфяный и ТЕ — эуторфно-торфяный (в верхней части торфяной толщи) (Шишов и др., 2004; Лебедева, Герасимова, 2012). Диагностика горизонтов проводится по цвету, степени разложения и концентрации органического вещества. Авторы классификации почв России определяют целесообразность обобщенного подхода для анализа генезиса почв, поясняя в недавней публикации, что не отвергают традиционный для лесоводческих классификаций термин «лесная подстилка» для всей органогенной части профиля и детализацию изучения по подгоризонтам L, F, H в прикладных и экологических работах (Герасимова и др., 2013).

В лесной биогеоценологии сформирована точка зрения на лесную подстилку как самостоятельное природное образование («биогоризонт»), функционально связывающее фитоценоз и почву (Шумаков, 1956). В серии работ Л.Г. Богатырева (1988, 1989, 1990; 1997, 1998, 2004 — с соавторами) в продолжение этого направления разработана оценка лесных подстилок на основе системы биохимических показателей с учетом влияния растительности и гидротермического режима, но не принято во внимание влияние почвообразующих пород. Абсолютизация одной подсистемы лесной почвы может быть оправдана на стадии исследования собственно лесной подстилки. Такой подход не оправдан при оценке цикла элементов, продуктивности системы, депонировании и миграции загрязнителей.

Для экологических работ более пригодна классификация типов гумусового профиля лесных почв, учитывающая особенности морфологии и функционирования лесных подстилок и гумусовых горизонтов в зависимости от всех факторов почвообразования. Здесь тип гумуса — понятие, которое отражает направленность процессов минерализации и гумификации опада, интенсивность биологического круговорота и плодородие лесных почв (Чертов, 1981). Дренаж, геологическая порода и рельеф характеризуют уровень потенциальной продуктивности лесных земель. Авторская методика определения типов гумуса лесных почв в сочетании с положениями генетической классификации почв СССР была использована для картирования Ленинградской области, а также как концептуальная основа для разработки математических моделей динамики органического вещества почв и лесных экосистем (Чертов, 1981; Chertov et al., 2001; Komarov et al., 2003; и др.).

На основе лабораторных опытов, полевых исследований и литературных данных нами сделано предположение о разных путях трансформации соединений азота в зависимости от текстурного и химического состава минеральной части почвы. Принято считать типичным относительное накопление азота с увеличением стадии трансформации опада, от L к H, за счет накопления гумусовых веществ, т.е. развития процесса гумификации. Нами собрана база данных, фиксирующих «нетипичное» увеличение отношения C/N в лесных подстилках некоторых почв.

Ранее М.А. Надпорожской и соавторами (Надпорожская и др., 2003; Чертов, Надпорожская, 2011) в модельных лабораторных опытах был установлен факт интенсификации потерь азота при разложении растительных остатков в кварцевом песке или бескарбонатном суглинке. Полевые исследования подтвердили влияние литогенного фактора на динамику соединений азота как вследствие контакта с нижними слоями подстилок, так и опосредованно формированием зольного состава опада. Предполагаем, что ведущий процесс в закреплении азота в кислых лесных почвах легкого гранулометрического состава нормального увлажнения — соосаждение с железом и алюминием. Эффекты стабилизации азота в гумусе или формирование преимущественно водорастворимых его соединений могут оказывать влияние на лесорастительные свойства почв. В будущих работах планируем использовать преимущества классификации почв России при оценке литогенной части и классификации типов гумуса для анализа процессов трансформации органического вещества.

*Работа частично финансирована из средств гранта
РФФИ 10-04-00481-а и НИР СПбГУ 1.0.142.2010.*

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ДЕНСИМЕТРИЧЕСКОГО ФРАКЦИОНИРОВАНИЯ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПОЧВ ПРИПОЛЯРНОГО УРАЛА

Милановский Е.Ю.¹, Дымов А.А.², Холодов В.А.³, Федотов Г.Н.⁴

¹МГУ имени М.В. Ломоносова, Факультет почвоведения, Москва; ²ИБ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар; ³Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва; ⁴ИЭП МГУ, Москва
aadymov@gmail.com

В настоящее время представления о системе почвенного органического вещества претерпевают существенные изменения. Расширение инструментальных возможностей для исследования органических веществ, способствуют появлению новых представлений о составе и пространственной организации ОВП, и существенном вкладе индивидуальных органических частиц. Разделение органических компонентов почв, с целью диагностики их функциональной роли, является одной из наиболее важных задач современного почвоведения.

В связи с чем, цель данной работы заключалась в разделении системы почвенного органического вещества на денсиметрические фракции с последующим анализом их физических, химических и микроморфологических свойств.

Денсиметрическое фракционирование проводили поливольфраматом натрия согласно (Grunewald et. al., 2006) с учетом рекомендаций (Cerly et. al., 2012). Фракцию свободного органического вещества (FPOМ) отделяли раствором поливольфрамата натрия с плотностью $1.60 \pm 0.03 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$, далее фракцию FPOМ разделяли на сите с размером пор 50 мкм на FPOМ (>50 мкм) и FPOМ (<50 мкм). Окклюдированное органическое вещество (ОПОМ) извлекали раствором поливольфрамата с этой же плотностью, но после обработки ультразвуком (при мощности $150 \text{ Дж} \cdot \text{мл}^{-1}$). Фракции, связанные с минеральной составляющей разделяли на HF1 (плотность от $1.6—2.2 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$) и HF2 (плотность более $2.2 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$). Контактный угол смачивания почв и денсиметрических фракций определяли на Drop Shape Analyzer DSA 100 (KRUS, Германия). Изучение микростроения почв и отдельных денсиметрических фракций проводили на растровом электронном микроскопе JEOL-6060A (Япония) с последующим анализом на энергодисперсионном рентгеновском анализаторе EX-2300 BU. Определение общего углерода, азота и серы в почвенных образцах и денсиметрических фракциях осуществляли на элементном анализаторе CHNS Vario EL III (Германия). Были исследованы почвы Приполярного Урала, морфологические и физико-химические свойства описаны ранее (Дымов и др., 2013).

Содержание и свойства денсиметрических фракций в существенной степени определяются условиями формирования почв и качественным составом растительного опада, вовлекаемого в биогеохимический цикл. В верхних минеральных горизонтах подзолов иллювиально-железистых доминирует тяжелая органо-минеральная фракция HF2 (с плотностью $> 2.2 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$). Для подбуря иллювиально-гумусового выявлено увеличение доли легкой органо-минеральной фракций HF1 (плотность от $1.6—2.2 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$). В буроземах обнаружено максимальное содержание фракции HF1 среди анализируемых почв. Важной диагностической особенностью подбуров глееватых иллювиально-гумусовых, наиболее гидроморфных среди рассматриваемых почв, является рост вклада свободных и окклюдированных форм органического вещества в составе верхнего минерального горизонта. Содержание органического углерода в рассматриваемых фракциях

существенно варьирует. Максимальные концентрации углерода характерны для свободного органического вещества, и в некоторых случаях для фракции с окклюдированным материалом. Минимальные содержания наблюдаются для фракции HF2 — в них содержание углерода не превышает 0.6 %. Денсиметрические фракции рассматриваемых почв существенно отличаются и по отношению C:N. Для большинства исследуемых почв, в ряду от свободного органического вещества к HF2 фракции наблюдается увеличение вклада азота в состав ПОВ. Это свидетельствует о различных химических особенностях органического вещества в сравниваемых денсиметрических фракциях.

Анализ контактного угла смачивания почв и отдельных денсиметрических фракций показал, что наибольший угол смачивания характерен для фракции свободного органического вещества (FПOM) и окклюдированных (ОПOM) компонентов. Таким образом, можно предположить, что для данных почв Приполярного Урала гидрофобные свойства почв в целом определяются свободным и окклюдированным органическим веществом. Анализ содержания отдельных молекулярно-гомогенных фракций органического вещества в денсиметрических фракциях показал существенное сходство между сравниваемыми денсиметрическими фракциями. Содержание отдельных фракций, различающихся способностью вступать в реакцию гидрофобного взаимодействия, лимитируются общим содержанием органического углерода в отдельной денсиметрической фракции.

Согласно микроморфологическим исследованиям, фракция свободного органического вещества FПOM (>50 мкм) представлена растительными остатками, покрытыми минеральными пленками. В составе фракции FПOM (<50 мкм) растительных остатков в исследованных образцах не обнаружено. Поверхность микроагрегатов покрыта толстыми пленками органического вещества. Фракция окклюдированного органического вещества морфологически схожа с FПOM (<50 мкм), но в химическом составе на поверхности агрегатов (около 20 нм) выявлено увеличение содержания алюминия, кремния и железа. Для легкой органоминеральной фракции HF1 характерно максимальное содержание на поверхности агрегатов соединений железа, при уменьшении мощности пленок органических соединений покрывающих агрегаты. На поверхности частиц тяжелой органоминеральной фракции наблюдается возрастание содержания алюминия и кремния.

Работа выполнена при поддержке проектов РФФИ (11-04-01241-а, 12-04-90700моб_ст, 13-04-00570- а) и гранта МК-1027.2013.4.

Литература

1. Почвы северной части Приполярного Урала: морфология, физико-химические свойства, запасы угл (2012)
2. Separation of light and heavy organic matter fractions in soil - Testing for proper density cut-off (2006)
3. Organic matter stabilization in young calcareous soils as revealed by density fractionation and analysis of lignin-derived constituents // Organic Geochemistry 37. P. 1573–1589.
4. (1999) Evaluation of an ultrasonic dispersion procedure to isolate primary organomineral complexes from soils // European Journal of Soil Science 50. P. 87–94.

ПОЧВЫ ЛЕСНЫХ ОСТРОВКОВ БОЛЬШЕЗЕМЕЛЬСКОЙ ТУНДРЫ

Русанова Г.В., Денева С.В., Шахтарова О.В.
ИБ КомиНЦ УрО РАН, Сыктывкар
olga.shakhtarova@mail.ru

Разреженные еловые и елово-березовые леса северной лесотундры приурочены к дренированным склонам речных долин, с преобладанием ерника и кустарничково-мохово-лишайниковых ассоциаций в покрове. На хорошо отсортированных рыхлопесчаных отложениях борových террас формируются подзолы иллювиально-железистые. Белесый (7.5 YR 7/1) цвет подзолистого горизонта, элювиально-иллювиальный характер распределения гумуса и оксидов алюминия, железа, величина оптической плотности в оксалатной вытяжке показывают большую интенсивность подзолистого процесса, чем в почвах тундровых ландшафтов. Подзолы под лесными островками в лесотундре не имеют больших отличий от таежных подзолов.

В локальных депрессиях под редкостойным ельником с ивняково-ерниковым сфагново-осоковым покровом на двучленных отложениях формируются торфяно-подбуры глеевые. В слое торфа (23 см) отмечаются фрагментация и агрегация растительных остатков. В минеральной толще наблюдаются криотурбированные фрагменты торфа, прокраска потечным гумусом, гумусо-железистые натеки и пленки на стенках пор. Влияние леса, по сравнению с безлесными пространствами, сказывается на характере дифференциации профиля, более интенсивной миграции гумусо-железистых соединений.

В формирующихся под лесными ценозами на суглинистых породах светлосемах иллювиально-железистых, на защищенных от ветра склонах с более слабо проявляющимися криогенными процессами, развивается своеобразный профиль с выраженным подзолистым и иллювиально-железистым в верхней части, и специфически оструктуренными криометаморфическими горизонтами — в средней. Описание мезоморфологии светлосема показывает, что подзолистый горизонт характеризуют пластинчатые агрегаты, субпараллельная слоеватость, со скелетанами в промежутках. Иллювиально-железистый горизонт BF отличается икряной структурой, ржаво-охристыми пятнами и полосами. Криометаморфическому горизонту свойственны агрегаты-ооиды, угловато-крупитчатая структура, заполнение пылеватыми скелетанами межагрегатных промежутков и пор.

Профильное распределение дитионит-, оксалаторастворимых форм Fe как во внутриведной массе, так и скелетанах отражает элювиально-иллювиальную дифференциацию в горизонтах E-BF, увеличение дитионитрастворимых форм в горизонте CRM, тогда как по оксалаторастворимым формам увеличения не наблюдается. В характере распределения оксидов Al также выделяется иллювиальный максимум в горизонте BF, и уменьшение их количества вниз по профилю.

Таким образом, имеют место собственно Al-Fe-гумусовый подзолообразовательный процесс, регулирующий дифференциацию оксидов Al, Fe и органического вещества, а также восстановительно-окислительный, ответственный за мобилизацию, миграцию и аккумуляцию гидроксидов Fe. Одним из главных профилеобразующих процессов в почве является редокс-альфегумусовое подзолообразование, выявленное В.Д. Тонконогим (2010) для почв подобного типа.

Островки елового леса сохраняются вплоть до побережья Баренцева моря (басс. р. Море-ю) в защищенных от ветра и хорошо дренированных террасах, сложенных песками и рыхлыми пылевато-суглинистыми отложениями. О реликтовом характере лесов свидетельствуют преобладание в них бореальных видов растений. Высота елей от 20 см (стланиковая форма) до 6 м. В средней части бассейна р. Море-ю на песчаных породах преобладают еловые хвоцево-лишайниковые леса с можжевельником и ерником, под которыми формируются подбуры. К северу в подобных условиях доминируют низкорослые куртины, стланиковые формы ели с участием мхов в напочвенном покрове, произрастающие также на подбурах. На суглинистых отложениях с развитыми глееземами криометаморфическими формируются еловые зеленомошные сообщества с ивой в подлеске. В пойме на аллювиальных глееватых почвах произрастают хвоцево-зеленомошные ельники. Под островками леса часто формируются двухэтажные почвы с подбурами в верхнем ярусе и подзолами, или также подбурами в нижнем. Различие температур, усиление суровости климата и влияния криогенных процессов к северу затормаживают интенсивность педогенеза, при одинаковом наборе почвообразующих процессов, по сравнению с почвами лесотундры. К подобному выводу пришли и другие авторы (С.В. Горячкин, 2010; Sanborn P. et al., 2011; Payette S. et al., 1993).

ОСОБЕННОСТИ ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ И СВОЙСТВА ПОЧВ ПРИЛЕГАЮЩИХ К ЛЕСУ СТЕПНЫХ ЛАНДШАФТОВ

Русанов А.М.¹, Шеин Е.В.²

¹ОГУ, Оренбург; ²МГУ имени М.В. Ломоносова, Факультет почвоведения, Москва
fns@mail.osu.ru

В настоящее время вопросы лесного почвообразования, несмотря на ряд проблемных вопросов, достаточно хорошо изучены. В гораздо меньшей степени исследовано влияние лесных экосистем на условия формирования и свойства почв сопредельных с лесом пространств. Особый научный и практический интерес представляют собой процессы и явления, происходящие на границе двух контрастных по происхождению, составу и свойствам экосистем леса и степи.

Исследовано влияние Бузулукского бора, крупного лесного массива (111 тыс. га), расположенного в пределах настоящих степей Высокого Заволжья, на прилегающие к нему степные пространства. Работа проводилась на стационарных почвенно-геоботанических площадках, расстояние между которыми не превышало 6—8 км, а общая протяженность катены составила 34 км.

Известна способность лесных биогеоценозов аккумулировать в своих границах значительное количество влаги. За счет высокой теплопроводности и теплоемкости она не только формирует своеобразный мезоклимат покрытого лесом пространства, но под влиянием движения приземных слоев атмосферы распространяет его на соседние территории. Установлено, что высота снежного покрова на опушке леса за период наблюдений составила в среднем 55 см, на последнем участке наблюдения она не превышала 13—17 см. Запасы влаги в метровом слое почвы на начало и конец вегетационного периода постепенно снижались с 385 и 197 мм соответственно на первом участке катены до 217 и 134 мм на последнем. Замеры температуры почв, выполненные

на глубине 20 см, показали, что на последней наблюдательной площадке она оказалась на 2.5—3.0°C выше, чем на первой.

Под влиянием смены гидротермических условий формируется растительный покров окружающего лес пространств. На расстоянии 3—4 км бор окаймляют разные по площади лиственные леса—дубняки, ольшанники, тополевики, липняки. Общая площадь лесопокрываемой территории составляет здесь 10—12%. Меняется видовой состав травянистых растительных сообществ, геоботанические показатели естественного травостоя. Кострецово-разнотравное и разнотравно-тонконоговое сообщества на первых трех участках сменяются полынно-ковыльно-типчаковым на последней наблюдательной площадке. По мере удаления от соснового леса с 60—85 до 55—60% снижается проективное покрытие фитоценозов, средняя высота травостоя меняется с 55—70 см до 40—45 см., а число ярусов уменьшается с 6 до 4. Общие запасы фитомассы (подземной и надземной) сокращаются с 409—296 ц/га на второй и третьей площадках до 168 на последней, шестой; в том же направлении отношение подземной фитомассы к надземной возрастает с 2.0 до 5.5, что является косвенным признаком аридизации климата.

Таким образом при движении в направлении бор—степь происходят значительные изменения в климатических (мезоклиматических) и биологических факторах почвообразования, что не могло не найти своего отражения в свойствах почв. Морфологические исследования черноземов исследуемого пространства показали, что мощность гумусово-аккумулятивного горизонта А+АВ снижается с 66—76 см на первых двух участках, приближенных к лесному массиву, до 37 см на шестой. Исследование интенсивности биологической активности почв по уменьшению веса льняной ткани, помещенной на глубину 20 см на период 30 дней, показало, что черноземы первых трех участков почти на 60% превосходили по этому показателю почвы, расположенные на противоположном крае катены.

Изучение почвенной фауны, которую можно рассматривать одновременно как условием почвообразования, так и его результатом, позволили зарегистрировать в пределах катены представителей 4 отрядов и 11 семейств. Наиболее разнообразным оказался видовой состав отряд Coleoptera. Выявлено, что первый и последний участки по видовому разнообразию отличаются между собой максимальной обособленностью. Особенно контрастно это явление проявляет себя внутри семейства Elateridae, представители которых встречаются во всех точках отбора, но разнятся в видовом отношении. Обязательными для всех ключевых участков явились куколки долгоносика (Curculionidae) и проволочники (Agriotes sputator). Представители Lumbricidae в значительном количестве встречаются на последних трех площадках, на остальных они представлены единично. Отмеченные виды по экологическому преферентуму при движении в направлении лес — степь можно объединить в следующие группы — лесные, луговые, лугово-полевые и степные мезофилы. Подобная динамика отмечена и в пищевых предпочтениях. Так, на участке с кострецово-разнотравным сообществом преимущество получили сапрофаги, с полынно-ковыльно-типчаковым фитоценозом стенотопными являются хищные представители, а на 3—4 участках встречаются и те, и другие.

Установлено также, что рН почвенного раствора по мере удаления от леса изменяется от слабокислого (6.6) до слабощелочного (7.6); а сумма обменных оснований уменьшалась от 41.5 до 32.4 мг/экв.

Для оценки направленности процессов гумусообразования по ферментативной активности почв используется показатель гумификации, определяемый по отношению активности полифенолоксидазы (играющей важную роль в явлениях новообразования

гумуса) к пероксидазе (участвующей в процессах его минерализации). Выявлено, что максимальное значение на пятом и шестом участке этот показатель принимает в первой декаде апреля, а в почвах территорий, граничащих с лесом, его максимум приходится на конец апреля, что, вероятно, связано с различиями в наступлении оптимального гидротермического режима почв и с фазой вегетации доминирующих видов растений. Содержание гумуса в верхнем двадцатисантиметровом слое горизонта А+АВ наибольшего значения достигает на второй площадке наблюдений (8.7%) и, постепенно снижаясь, составляет 5.6% в черноземах последнего участка. Степень гумификации органического вещества в почвах всех исследованных образцов соответствует высокому уровню (>40), а судя по отношению $C_{гк}/C_{фк}$ гумус проанализированных черноземов имел гуматный тип (>2) с тенденцией к повышению по мере удаления от соснового леса (Гришина, 1986). Определение амфифильных свойств органического вещества почв (Милановский, 2009) показало, что на близких к лесу массивах присутствует некоторое преобладание гидрофобных фракций, участвующей в формировании почвенной структуры; по мере дальнейшего продвижения в сторону типично степных ландшафтов отмечается увеличение доли гидрофильных компонентов, представляющих собой запасы легкодоступных питательных веществ, и амфифильно нейтрального гумуса.

Результатами исследования физических свойств целинных черноземов доказано, что по таким важнейшим признакам, как структурное состояние, плотность и водопроницаемость почвы близких к лесу ландшафтов имели лучшие показатели, чем их аналоги, расположенные на противоположном крае катены. Так коэффициент структурности в слое 0—30 см равнялся 2.1—3.3 в почвах первых двух участков и 1.6 в черноземах последней площадки исследования; плотность тех же почв при этом менялась от 1.01—1.04 до 1.17 г/см³, а водопроницаемость от 235—172 до 111 мм/час соответственно.

Таким образом, расположенные в степной зоне с черноземами обыкновенными леса способны в значительной степени менять экологию окружающих ландшафтов. Такое явление стало возможным из-за соседства двух контрастных экосистем - лесной и степной. Под влиянием относительно влажного мезоклимата леса, который выполняет в данном случае роль ведущего фактора почвообразования, между лесом и степью сформировалась переходная экосистема, экотон, шириной до 20 км с ареалом черноземов, которые по всей совокупности абиотических и биотических условий почвообразования и, как следствие, по своим генетическим свойствам соответствуют подтипу типичных, а окружающие сосновый лес ландшафты обладают всеми признаками лесостепной зоны.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ В ЛЕСАХ СЕВЕРОТАЕЖНОЙ ПОДЗОНЫ КАРЕЛИИ

Федорец Н.Г.
ИЛ КарНЦРАН, Петрозаводск
fedorets@krc.karelia.ru

Исследования проведены в сосновых и еловых лесах, произрастающих на подзолах иллювиально-железистых, иллювиально-гумусово-железистых, иллювиально-железисто-гумусовых, торфянисто-перегнойно-глеевых и торфяных почвах переходного типа, составляющих экологические ряды по увлажнению и трофности. Почвы автоморфного ряда по гранулометрическому составу пылевато-связно-песчаные завалуненные. Низкое содержание в почвах тонкопылеватых и илистых фракций свидетельствует о слабой интенсивности разрушения почвенных минералов и глинообразования. Характер перераспределения илистых частиц в почвенных профилях подзолов связан с их родовой принадлежностью, определяемой по содержанию гумуса в иллювиальном горизонте. Профильная дифференциация химических показателей проиллюстрирована величинами коэффициентов дифференциации — отношением содержания элемента в иллювиальном к содержанию их в подзолистом горизонте. Количественное перераспределение химических элементов и глубина миграции их по профилю подзолов определяется степенью увлажнения почвы и носит элювиально-иллювиальный характер.

Для лесных подстилок хвойных лесов северотаежной подзоны характерны слабая степень разложения, а также низкая зольность, биогенная аккумуляция азота и калия увеличивается по мере нарастания степени увлажнения. Кислотность лесных подстилок в разных типах леса различается слабо, величина рН солевой вытяжки 2.7—2.8. Содержание органического вещества (в пересчете на С) в лесных подстилках подзолов сосновых и еловых лесов колеблется в пределах 46.2 и 41.6%. В гидроморфных почвах его количество в верхней части профиля составляет в сосняках 43.6, в ельниках — 32.2 %. С увеличением степени увлажненности почв запасы общего азота в корнеобитаемом слое возрастают как в сосновых, так и еловых биогеоценозах. Преобладающей формой железа и алюминия в исследованных песчаных подзолах является силикатная, составляющая более 90% валового. Распределение по профилю как силикатных, так и аморфных форм железа и алюминия носит элювиально-иллювиальный характер. С увеличением увлажненности почв от подзола иллювиально-железистого к подзолу иллювиально-железисто-гумусовому коэффициент дифференциации становится шире. Аморфные соединения алюминия выносятся из подзолистого горизонта значительно более интенсивно, чем силикатные.

Изучение физико-химических показателей групп гранулометрических фракций показало, что в верхней минеральной части почвенного профиля обменная и гидролитическая кислотность создаются за счет водорода и алюминия мелкодисперсных фракций. Почвенный гумус и азот, подвижные соединения фосфора и калия, обменные кальций и магний преобладают в мелкодисперсных фракциях подзолов. Составленная компьютерная карта гранулометрического состава почв Карелии, отражает особенности почвообразования и тесную взаимосвязь с составом почвообразующих пород.

Перераспределение микроэлементов в почвенном профиле в процессе выветривания и почвообразования носит элювиально-иллювиальный характер и происходит, в основном, на уровне концентраций, типичных для почвообразующих

пород региона. Показатели накопления микроэлементов в лесных почвах северо-таежной подзоны находятся на уровне региональных фоновых или ниже. Подвижные соединения микроэлементов накапливаются в основном в лесных подстилках, в отдельных случаях первый максимум наблюдается в иллювиальных горизонтах. Установлено, что содержание подвижных форм и валового содержания цинка, кобальта, хрома и кадмия в лесных подстилках всех исследованных почв связано прямой корреляционной зависимостью. Относительное накопление подвижных соединений микроэлементов составляет доли процента от валового, лишь цинка и кадмия от 2 до 11%. В экологических рядах сосновых и еловых лесов запасы микроэлементов, являющихся элементами минерального питания растений в лесных подстилках автоморфной части экологического ряда хвойных лесов увеличиваются по мере увеличения степени гидроморфности. Названия почв даны по региональной классификации Р.М.Морозовой (1991).

РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЧЕРНОЗЕМОВ ПАХОТНОГО ПОЛЯ И ПОД ЛЕСОПОЛОСОЙ

Хайдапова Д.Д., Милановский Е.Ю., Честнова В.В.
МГУ имени М.В. Ломоносова, Факультет почвоведения, Москва
dkhaydapova@yandex.ru

Защитные насаждения на сельскохозяйственных землях организуют ландшафт, очищают атмосферу от пыли, обогащают окружающую атмосферу кислородом, влияют на ряд процессов, идущих в почве. Известно, что под влиянием лесополос уменьшается плотность почвы, увеличивается водопроницаемость, увеличивается содержание органического вещества, в сухостепной зоне улучшается водный режим почв лесополос, увеличивается доступность влаги для растений (Карпачевский, Хайдапова, 1988; Карпачевский и др., 1989). Происходящие изменения в почве под влиянием лесополос должны влиять и на микроструктурное состояние почв. Сравнение реологических параметров структурной организации почвенных частиц чернозема типичного, находящегося в сельскохозяйственном обороте и под прилегающей лесополосой явилось целью нашего исследования.

Объектом исследования был выбран чернозем типичный опытного поля Курского НИИ агропромышленного производства (Курская область) и прилегающей лесополосы, посаженной 60 лет тому назад на ранее пахотном поле.

Для оценки структурного состояния почв был проведен анализ распределения агрегатов по размерам методом автоматического рассеивания на ситах с помощью вибрационной установки AS 200 control. Реологические параметры поведения почвенных паст были определены методом амплитудной развертки на модульном реометре MCR-302 (Anton Paar, Austria) (Т. Mezger, 2011). Колебательные методы, проводимые параллельными плато реометра MCR, применены W.Markgraf и др. (2006), как подходящие методы для определения механического поведения почв. Были определены следующие параметры: модуль накопления, модуль потерь, область линейной вязкоупругой деформации, точка пересечения модулей, фактор потерь, интегральная зона фактора потерь.

Модуль упругости является мерой энергии деформации, сохраненной образцом во время процесса сдвига. После прекращения сдвигового усилия, эта энергия действует, как движущая сила для процесса восстановления полученных деформаций. Материалы,

которые сохраняют полностью примененную энергию деформации, показывают поведение абсолютно обратимой деформации. Таким образом, модуль упругости представляет упругость материала (Mezger, 2011).

Модуль потерь или вязкости — является мерой энергии деформации, израсходованной образцом во время сдвигового процесса и потерянной. Эта энергия тратится во время процесса изменения структуры материала, т.е. движения между молекулами, группами, частицами, совокупностями или другими компонентами структуры, такими как "домены". Существуют силы трения между этими компонентами, и как следствие, происходит повышение температуры. Часть этой энергии подогревает образец, а другая часть теряется в форме тепла в окружающую среду. Теряющие энергию материалы, показывают необратимое деформационное поведение. Таким образом, модуль потерь представляет вязкое поведение исследуемого материала (Mezger, 2011).

Фактор потерь вычислен, как отношение потерянной к сохраненной энергии деформации и показывает отношение вязкой и упругой частей вязкоупругого поведения деформации. Если фактор потерь меньше 1, или модуль упругости больше модуля вязкости, то, вещество имеет характер геля. Если фактор потерь больше 1, или модуль вязкости больше модуля упругости, то вязкое поведение, доминирует. Если модуль вязкости и модуль упругости равны, то фактор потерь равен 1, образуется точка пересечения. Для дальнейшего сравнения определена интегральная зона z фактора потерь с пределами деформации от 0.001% до точки пересечения модулей, при факторе потерь равном 1.

Распределения агрегатов по размерам показало, что в лесополосе максимальное содержание агрегатов (30%) приходится на оптимальный размер 1—5 мм. Максимальное содержание агрегатов чернозема пашни (19%) имеет размер от 0.5 до 1 мм. В пахотных почвах наблюдается увеличение содержания глыбистой и пылеватой фракции. Очевидно худшее структурное состояние почвы пашни в сравнении с почвой под лесополосой.

Реологические параметры почвенных паст определенные методом амплитудной развертки показали различные свойства поверхности почвенных частиц лесополосы и пашни. Все реологические параметры почвы лесополосы превышают таковые пашни. Полное разрушение структуры, при котором модули упругости и вязкости становятся равны, в почве лесополосы наступает при 11.5% деформации, в то время как в почве пашни это разрушение наступает уже при 3.5% деформации. Сравнительная характеристика — интегральная зона фактора потерь меньше 1 показывает область поведения почвенных паст до разрушения. Область поведения до разрушения для почвы лесополосы значительно больше таковой для почвы пашни (для почвы лесополосы — 2.9, для почвы пашни — 1.7). Это говорит о значительно большей структурной устойчивости почв лесополосы. Таким образом, можно сделать вывод о роли лесополос как восстановительного фактора структурного состояния почв.

Что же является в почвах под лесными насаждениями структурообразующим элементом? Очевидно органическое вещество, которое отличается от органического вещества пахотных почв большим содержанием активных функциональных групп. Как показали исследования Е.Ю.Милановского и др. (2004) длительная вспашка приводит к существенному уменьшению содержания гидрофильных компонентов в составе гумусовых веществ по сравнению с целинными вариантами. Вероятно, уменьшение содержания гидрофильных компонентов с активными функциональными группами в пахотных почвах приводит к нарушению микроструктурной организации почвенных частиц и ухудшению структурного состояния почв. В почвах лесополос увеличение общего

содержания органического вещества в результате меньшей интенсивности минерализации, способствует сохранению гидрофильной части гумусовых веществ, которые, по-видимому, и служат связующим элементом почвенных частиц.

Литература

1. Особенности водного режима лесных полос в сухостепной зоне. Ж. Почвоведение, № 3, 1988. С. 39-52
2. Закономерности влагопереноса в светлокаштановой почве под лесополосами Волгоградской об. Водоустойчивость и органическое вещество черноземов под степью и «вечным паром» Центрально-черноземного государственного заповедника. Особо охраняемые природные территории Курской области. Материалы научно-практической конференции (пос.Заповедный, Курская область), Курск, 2004. С.76-81
4. (2011) The Rheology handbook. The 3rd Revised Edition, Hanover, Germany, p. 43
5. (2006) An approach to rheometry in soil mechanics-structural changes in bentonite, clayey and silty soils // Soil and Tillage Research 91, p.1-14

МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ СОСТАВ ИЛИСТОЙ ФРАКЦИИ ЛЕСНОЙ ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ НА МЕТАМОРФИЧЕСКИХ ПОРОДАХ ГОРНОГО МАССИВА ИРЕМЕЛЬ, ЮЖНЫЙ УРАЛ

Халитов Р.М.¹, Сулейманов Р.Р.², Абакумов Е.В.^{1,3}, Перова Е.Н.¹

¹СПбГУ, Биолого-почвенный факультет, Санкт-Петербург;

²ИБ УНЦ РАН, Уфа; ³ИЭВБ РАН, Тольятти

aves1103@rambler.ru

Каждый тип почв формируется под действием уникального набора факторов почвообразования. Это отражается на химическом и минералогическом составе почвенных горизонтов. В связи с этим особенно важным является вопрос происхождения почвенных минералов.

В работе проведено описание минералогического и химического состава лесной подзолистой почвы расположенной в Южно-Уральской горной провинции. Почвенный разрез подзолистой почвы был заложен на северо-западном склоне отрога Жеребчик горного массива Ирмель (Южный Урал), в горном поясе елово-пихтовых лесов. Формула почвенного профиля (см): O (0—5)-EL (5—10)-BEL (10—41)-BT1 (41—58)-BT2 (58—80). Горный массив сложен кварцевыми песчаниками, кварцито-песчаниками и подчиненными им глинисто-филлитовыми темно-серыми и черными сланцами. Растительный покров характеризуется проявлением закономерностей высотной поясности континентального типа умеренных широт в средневысотной горной стране (Цветаев, 1960).

Идентификация почвенного разреза проведена в соответствии с Классификацией и диагностикой почв РФ 2004 г. (Классификация и диагностика..., 2004) и Полевым определителем почв России 2008 г. (Полевой определитель..., 2008) была описана подзолистая почва.

Минералогический состав изучен в илистой фракции почв, выделенной методом седиментации (Соколова и др., 2005). Рентген-дифрактометрический анализ ориентированных препаратов выполнен на автоматическом порошковом рентген-дифрактометре Rigaku «MiniFlex II». Минералогический состав диагностировали с помощью пакета программ PDXL. Был проведен энергодисперсионный рентгенофлуоресцентный анализ почвенных

горизонтов на портативном анализаторе Omega (Innov X systems). Минералогический состав почвообразующей породы был исследован поляризационным микроскопом и электронным микроскопом с детектором. Почвообразующая порода представлена сланцами мусковит-хлорит-кварцевого состава. Текстура породы: массивная сланцеватая, зеленоватого цвета. Порода сложена параллельно ориентированными частицами мусковита и хлорита. Минеральный состав: кварц 50—55 об.%; слюды 25—30 об.%; хлорит — 15—20 об.%; акцессорные минералы (моноцит, ксенотим, рутил) — 3 об.%. По результатам микроскопических исследований с анализатором составлены формулы минералов:

Мусковит $(K_{0.6}Na_{0.16})_{0.83}(Al_{1.91}Mg_{0.07})_{1.98}(Si_{3.32}Al_{0.68})_{4.00}O_{10}(OH)_2$,

Хлорит $(Al_{3.97}Fe_{2+1.72}Mg_{0.31})_6(Si_{3.05}Al_{0.95})_{4.00}O_{10}(OH)_8$.

Кварц слагает основную массу породы и представлен в форме выраженных неровных зерен. Средний размер зерен 0.07 мм. Слюды представлены бесцветными и темно-коричневыми пластинчатыми выделениями в поляризованном свете, характеризуются высокими желто-синими цветами интерференции. Размер выделений составляет 0.1—0.07 мм. Хлорит характеризуется звездчатыми выделениями призматического строения, имеет зеленоватую окраску, Размеры звездчатых выделений достигают 2 мм. Гетит образует тонкодисперсные выделения светло-коричневого цвета, которые локализуются в микропорах хлорита и слюды. Включения акцессорных минералов обнаружены в хлорите. Горизонт ВТ2 подзолистой почвы сформирован на элювии почвообразующей породы. По результатам рентгенофазового анализа диагностировали следующие минералы: кварц, хлорит, слюда и каолинит. По относительной интенсивности пиков четко заметна тенденция уменьшения количества мусковита и хлорита по сравнению с содержанием этих минералов в почвообразующей породе. Предположительно, что каолинит формируется за счет изменения слюды и хлорита.

Вышерасположенный горизонт ВТ1 содержит следующие минералы: кварц, хлорит, слюда, каолинит и минерал группы смектита. Скорее всего, образование минерала группы смектита связано с преобразованием каолинита. В горизонт ВЕL диагностировали минералы группы каолинита, слюд, гидроксидов алюминия и кварц. Диагностика затруднена в связи с высоким содержанием кварца.

В горизонте ЕL обнаружены минералы группы слюд, хлорита, каолинита и кварц. Высокое содержание кварца вносило погрешность в идентификации минералов. В результате была выявлена общая закономерность уменьшения содержания слюды и хлорита в последовательности от нижних (ВТ2) к верхним горизонтам (ЕL). Образование минералов группы каолинита связано с изменениями слюд и хлоритов. По данным рентгенофлуоресцентного анализа выявляется общая закономерность относительного уменьшения содержания элементов (К, Са, Тi, Cr, Mn, Fe, V и другие) вверх по почвенному профилю.

Подстильно-торфяной горизонт имеет сильно кислую реакцию, величина потери при прокаливании — 50%. Содержание гумуса по профилю имеет элювиально-иллювиальный характер, степень кислотности почвы относится к категории сильнокислой. Итак, почвенные горизонты подзолистой почвы в известной степени унаследовали минералогический состав почвообразующей породы. По результатам рентгенфлуоресцентного анализа выявлено, что относительное содержание химических элементов (К, Са, Тi, Cr, Mn, Fe, V и другие) уменьшается вверх по профилю. Данные рентгенофазового и рентгенфлуоресцентного анализа коррелируют между собой. Например, уменьшение количества слюды сопрягается с уменьшением содержания калия.

В почвенных горизонтах, под действием почвообразовательных процессов возникают новые минеральные фазы: минералы группы каолинита и смешаннослойные минералы. В результате изменения слюд и хлорита образуется каолинит, в результате преобразования каолинита формируются смешаннослойные минералы.

Установлено, что на сланцах горного массива Иремель происходит формирование зональной подзолистой почвы с существенной спецификой минералогического состава.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант №11-05-97017-р_поволжье_a

Литература

1. Классификация и диагностика почв России. – Смоленск: Ойкумена, 2004. — 343 с.
2. Полевой определитель почв. – М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. — 182 с.
3. Глинистые минералы в почвах: Учебное пособие.— Тула: Гриф и К, 2005. — 336 с.
4. Горы Иремель (Южный Урал). Физико-географический очерк. Уфа, 1960.

ГЕНЕТИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ И ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ЧЕРТЫ ПОЧВ ЛЕСНЫХ ЛАНДШАФТОВ ЮЖНОГО ПРЕДБАЙКАЛЬЯ

Чиркова Е.Г., Козлова А.А.
ФГБОУ ВПО «ИГУ», Иркутск
allak2008@mail.ru

Территория Южного Предбайкалья отличается от многих других регионов большой пестротой природно-климатических условий [1, 4]. Разнообразие форм рельефа, горных пород, климата и растительности предопределили разнообразие почв и почвенного покрова региона, а также благоприятствовали проявлению в них своеобразных черт. Поскольку основная часть исследуемого региона покрыта бореальной растительностью, то лесные почвы имеют в регионе чрезвычайно широкое распространение и в основном представлены дерново-подзолистыми, дерновыми лесными и дерново-карбонатными почвами [2, 4, 6].

Дерново-подзолистые почвы развиваются под пологом светлохвойных (сосновых, лиственничных) и мелколиственных (осиновых, березовых), травяных, мохово-травяных и бруснично-травяных лесов [6, 8]. Условия для сквозного промачивания и вымывания легкорастворимых солей за пределы почвенного профиля появляются непродолжительное время только в конце августа и в начале сентября. Этим они принципиально отличаются от аналогичных почв Европейской части России. Основные особенности дерново-подзолистых почв региона — относительно высокая степень аккумуляции гумуса и оснований в верхней части профиля, слабокислая, близкая к нейтральной реакция, значительное содержание первичных минералов, сложный и разнообразный состав вторичных. Отличия в показателях органического вещества обусловлены замедленным превращением остатков в связи с краткостью активных биохимических процессов. При освоении дерново-подзолистых почв под пашню в них, снижается кислотность, содержание гумуса и азота. В почвах, удобренных навозом, возрастает содержание гумуса, повышается количество гуминовых кислот в целом и связанных с кальцием в частности [5, 10].

Дерновые лесные почвы, наряду с дерново-подзолистыми, являются обязательным

компонентом почвенного покрова травяных кустарниковых лесов [4, 6]. На плато и в горах они формируются на различных породах, занимая нижние части склонов. Материнскими породами дерновых лесных почв могут быть различные рыхлые элювиальные и делювиальные отложения, но наиболее характерные почвы этого типа развиваются на продуктах выветривания галечников. В почвах равнин гумусовый горизонт достигает 10—15 см, на плато и в горах мощность его и профиля в целом уменьшается. Основной провинциальной особенностью формирования дерновых лесных почв богатство пород основаниями и первичными минералами [7]. При этом Б.В. Надеждин [8] подчеркивает, что формирование неоподзоленных (дерново-лесных бурых) почв под лесами Южного Предбайкалья обусловлено не только особыми свойствами почвообразующих пород, но и всей совокупностью условий почвообразования, как в прошлом, так и в настоящее время. Дерновые лесные почвы, используемые в земледелии, относятся к категории среднего качества, а под лесами — к группе с хорошими лесорастительными свойствами. Некаменистые почвы с достаточно мощным гумусовым горизонтом в удобных по рельефу условиях могут служить резервом новых земель [3, 5].

Дерново-карбонатные почвы — это своеобразный местный тип почв, формирование которого обусловлено физико-географическими особенностями, в частности составом и свойствами карбонатных почвообразующих пород, а именно известняков и доломитов преимущественно нижнекембрийских и красноцветных карбонатно-силикатных песчаников, аргиллитов, алевролитов и мергелей верхнекембрийского и ордовикского возраста. [6—8].

Между сибирскими и европейскими дерново-карбонатными почвами, существуют значительные провинциальные отличия. По выражению Б.В. Надеждина [8]: «...в развитии среднесибирских дерново-карбонатных почв карбонатная порода не просто является фактором, тормозящим подзолообразование, а в сочетании с другими факторами почвообразования обуславливает формирование почв, ничего общего с подзолистыми не имеющих...». К отличительным особенностям дерново-карбонатных почв региона следует отнести зависимость их физико-химических свойств от литологии почвообразующих пород. Они обладают нейтральной и слабощелочной реакцией среды верхних гумусированных горизонтов и щелочной — в нижней части профиля, высокой степени насыщенности основаниями, максимальным содержанием гумуса в верхней, небольшой по мощности части профиля. В целом по своим физико-химическим свойствам почвы характеризуются хорошим потенциальным плодородием [6—8].

Таким образом, общим для почв лесных ландшафтов Южного Предбайкалья является их развитие в суровых биоклиматических условиях, тормозящих процессы выветривания, что обуславливает зависимость их физико-химических свойств в большей степени от литогенной неоднородности и состава почвообразующих пород, чем от почвообразования. Для всех исследуемых почв установлена слабокислая, нейтральная и слабощелочная реакция среды верхних гумусированных горизонтов, с нарастанием щелочности книзу профиля. Для них характерно повышенное содержание и высокая степень насыщенности обменными основаниями почвенного поглощающего комплекса, включая дерново-подзолистые почвы. Максимальное содержание гумуса, сосредоточено в небольшом по мощности гумусовом горизонте. Этим они заметно отличаются от своих Европейских аналогов.

Литература

1. Атлас Иркутской области. — М. — Иркутск: ГУГК, 1962. — 182 с.
2. Иркутская область (природные условия административных районов) / Н.С. Беркин и др. — Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 1993. — 304 с.
3. Эколого-производственные особенности природных ресурсов сельского хозяйства. Земельный фонд Приангарья // Природные и организационно-экономические ресурсы сельского Приангарья. — Экологические факторы почвообразования Южного Предбайкалья. — Иркутск: Изд-во ИГУ, 2012. — 163 с.
5. Температурный режим сезонно-длительномерзлотных почв Восточно-Присаянской лесостепи Средней Сибири // Почвы мерзлотной области. — Якутск, 1969. — С. 21—22
6. Почвы Предбайкальского участка зоны БАМ // Почвенно-географические и ландшафтно-геохимические исследования в зоне БАМ — Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1980. — С. 11—98
7. Дерново-таежные почвы юга Средней Сибири. — Улан-Удэ, 1959. — 347 с.
8. Надеждин Б.В. Лено-Ангарская лесостепь (почвенно-географический очерк) — М.: Изд-во АН СССР, 1961. — 326 с.
8. Почвы Иркутской области. — Иркутск: Вост.-Сиб. кн. изд-во, 1949. — 404 с.
9. Дерново-подзолистые почвы Предбайкалья и пути повышения их плодородия // Почвы Предбайкалья и их плодородие. — Иркутск, 1970. — С. 6—92.

МИКРОМОЗАИЧНАЯ СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ТЕМНОХВОЙНЫХ ЛЕСОВ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ (БАССЕЙН Р.ПЕЧОРА, СЕВЕРНЫЙ УРАЛ)

Шлыкова Ю.С.¹, Алейников А.А.¹, Бовкунов А.Д.¹, Семиколенных А.А.^{1,2}

¹ЦЭПЛ РАН, Москва; ²МГУ имени В.М.Ломоносова, Факультет почвоведения, Москва
starosta202@gmail.com

Инвентаризация строения почвенного покрова на различных масштабных уровнях — важный шаг для моделирования функционирования экосистем и количественных расчетов баланса элементов. Проблему количественного описания процессов, имеющих место в бореальных лесах, составляет наличие мозаичных структур в растительном и почвенном покрове, что дифференцирует роль и вклад отдельных компонентов мозаик в функционирование экосистемы в целом. Наиболее известным элементом специфики таежного почвообразования являются ветровальные процессы и формирование в почве ветровально-почвенных комплексов, ранее хорошо охарактеризованных И.И. Васеневым и В.О.Таргульяном (1995). Под воздействием растений формируются мозаики как структурных, так и функциональных элементов (формирование приствольных повышений, влияние крон деревьев-эдификаторов, наличие на почве мертвой древесины, влияние микрогруппировок напочвенных растений и др.). Для описания этих неоднородностей используются понятия «микроместообитание», «микросайт», «микропарцелла» (как дальнейшая детализация понятия «парцеллы» в биогеоценологии (Дылис, Сукачев, 1964)).

Модельный массив выбран в темнохвойных бореальных лесах Печоро-Ильчского заповедника, который по историческим данным в наименьшей степени пострадали от антропогенных воздействий за последние столетия (Восточноевропейские., 2004; Алейников, Лазников, 2012). Ряд наблюдений составляет 4 года.

Для различных типов леса модельного полигона характерен разный набор микроместообитаний (микросайтов) и их процентные соотношения. Во всех типах лесах

выделяются межкروновые и подкروновые участки; валежины. Однако, в дренированных типах леса, таких как зеленомошные, крупнопоротниковые и высокотравные сообщества геотерогенность условий создается преимущественно за счет наличия ветровальных комплексов (бугров, западин), в то время как в переувлажненных сообществах сфагнового типа большую экологическую роль играют такие микроместообитания, как приствольные повышения живого дерева (отрыв подстилки и травянистой растительности от уровня грунтовых вод).

В ходе работ выявлены и подтверждены известные ранее особенности таежного почвообразования исследуемых регионов: а) практически вся почва турбирована преимущественно за счет ветровальной динамики лесной растительности; возможно, с этим связано ошибочное представление о формировании преимущественно неоподзоленных почвах в Предуралье (Иванова, 1949, Забоева, 1977, Втюрин, 2000); б) почва постоянно испытывает внесение мертвого органического материала; в) проективное покрытие крон составляет 50—75%, вследствие чего, именно на эти площади максимальное влияние кроны оказывают путем перераспределения осадков и служат источником хвойно-лиственного опада.

На химизм почвенных процессов влияют деревья-эдификаторы (главным образом, ель, хвоя которой обогащена азотом и обеднена кальцием; крона препятствует вымыванию веществ из почвы) и травянистый напочвенный покров (зависящий, в свою очередь, от экотопических факторов: увлажнения, характера стока, наличия ветровальных бугров и западин). Из биогенных элементов: калий (общий и подвижный) и общий фосфор практически константны. По типам леса и различным микроместообитаниям изменяются: подвижный фосфор, содержание кальция и магния, общий углерод. Наиболее богатый опад выявлен в высокотравном типе леса за счет высокой зольности.

Микроместообитания в разных типах леса характеризуются рядом особенностей. На валежах сохраняется общий баланс биогенных элементов, однако, происходит увеличение подвижных форм (медленная мобилизация элементов) в зависимости от срока экспозиции (стадии разложения) древесины. На элементах ветровально-почвенного комплекса наблюдается формирование пятнистости по химическому составу за счет увеличения в отрицательных элементах рельефа (ямах) калия, кальция, магния, нитратов иных воднорастворимых соединений. Имеет место сезонная динамика биогенных элементов в различных микроместообитаниях. Весной максимальные концентрации подвижного азота обнаруживаются в подкroновом пространстве (вероятная причина: снижено вымывание из-за задержки осадков кроной, и замедленно биогенное поглощение травянистой растительностью). Подвижный азот в подстилках хвойного состава находится преимущественно в аммонийной форме; на участках с травянистым напочвенным покровом, аммонийного азота в целом меньше (вероятно, в летний период он почти полностью включен в цепи питания травянистых растений) и там преобладают нитратные формы.

Значения pH по типам леса и различным микроместообитаниям достоверно отличаются. В целом подкroновые участки имеют более щелочные обстановки чем межкroновые (отличие на 0.5 единиц pH). Это несколько противоречит представлениям о подкисляющей роли хвойного опада. В весенний период значения pH во всех микроместообитаниях имели более щелочные значения (возможно, подкисляющая роль минерализуемого растительного опада проявляется к концу вегетационного периода). В наибольшей степени pH снижается из-за — развитие зеленых мхов на фоне повышенной влажности, однако, в отрыве от грунтовых вод (кочки и прикорневые повышения во влажных типах леса).

Сравнение годового хода температур на поверхности микросайтов четырех типов показывает, что наиболее контрастные условия обитания зафиксированы на валежине и, в меньшей степени на бугре, причем отрицательные температуры на микроместообитаниях этого типа отмечены в апреле, когда на высоте 2 м температура уже положительная. В то же время ямы и межкروновые пространства характеризуются менее контрастными условиями. Как было показано ранее (Запрудина, Смирнов, 2010), именно на валежинах первых стадий разложения в высокотравных лесах господствуют бореальные зеленые мхи и кустарнички, более толерантные к контрастным температурным условиям, чем виды других эколого-ценотических групп.

Первичные данные по сезонной динамике влажности почв и древесных субстратах показали, что во всех случаях влажность выше в межкроновом пространстве за счет эффекта задержки и перераспределения осадков кронами. Как и ожидалось, понижения более увлажнены, чем иные участки, однако, экологический эффект такого увлажнения противоположен в весенний и летний период. Весной переувлажнение приводит к задержке начала вегетации травянистой растительности и общему понижению температур в западинах (охлаждение грунтовыми водами). Летом, особенно в сухую погоду, западины имеют оптимальные гидротермические показатели для развития растений. Наличие мертвой древесины под растительностью и подстилкой имеет увлажняющий эффект в течение всего периода вегетации. В ранневесенний период межкроновые участки и западины протаивают раньше подкроновых участков на несколько недель. Подкроновые участки в целом, прикорневые повышения и бугры промерзают дольше. Однако, в подкроновом пространстве и на бугре рост растений с поверхностной корневой системой может весной происходить быстрее (так как верхний слой суше и лучше прогреет, низ — промерзший).

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проекты №13-04-01491 и 12-04-01786а, финансовой поддержке РФФИ гранта Президента РФ для молодых ученых (№ МК-2102.2012.4)

**СЕКЦИЯ 2. БИОГЕННЫЕ И АБИОТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ РАЗНООБРАЗИЯ
И ДИНАМИКИ ЛЕСОВ И ЛЕСНЫХ ПОЧВ**

БИОГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГЛОБАЛЬНЫХ ЭКОСИСТЕМ

Башкин В.Н.

ИФХиБПП РАН, Пущино

V.Bashkin@vniigaz.gazprom.ru

В зависимости от климата, геологических пород, почвенного и растительного покрова, гидрологии и рельефа, глобальная экосистема подразделяется на разнообразные экорегионы и экозоны (см. например, R. Bailey, 1998). Во всех этих структурных единицах биосферы пространственная организованность глобальной экосистемы проявляется в виде характерных особенностей биогеохимических циклов разных элементов. Соответственно, в докладе рассмотрены количественные параметры биогеохимического круговорота в разнообразных региональных лесных экосистемах.

Биогеохимическая цикличность в различных экосистемах во многом определяется биотой, особенно процессы первичной продуктивности и разложения отмирающего органического вещества. Биогеохимические циклы представляют собой суммарное отображение параметров циркуляции веществ между различными компонентами биосферы - почвами, поверхностными и грунтовыми водами, донными отложениями, биотой и атмосферой. Почвенная, геоботаническая, геологическая и в целом экосистемная регионализация является основой биогеохимического районирования. Комбинирование этих видов регионализации с количественными показателями биологического, геохимического и гидрохимического круговорота дает возможность рассчитать скорости биогеохимического круговорота. Показано, что на большей части земной поверхности реальная протяженность различных процессов, определяющих круговорот химических элементов (химических, биологических, микробиологических, геохимических и биогеохимических процессов) зависит от продолжительности зимнего (или засушливого) периода, когда интенсивность этих процессов существенно снижается или полностью приостанавливается в течение 6—10 месяцев. Известно также, что воздействие любых поллютантов на эти процессы происходит лишь в течение весенне-летнего времени. Длительность этого воздействия может быть охарактеризована коэффициентом активным температур, C_t , представляющим собой отношение суммы активных температур $> 5^{\circ}\text{C}$ к общей сумме годовых температур.

Для учета температурного влияния на процессы биологического поглощения элементов предлагается использование коэффициента биогеохимического круговорота, C_x , который рассчитывается как произведение коэффициента внутриэкосистемного биологического круговорота, C_b , равного отношению массы подстилки к массе ежегодного опада, и коэффициента активных температур:

$$C_x = C_b \times C_t.$$

Его использование позволяет учесть влияние периода активных температур на скорости биогеохимических циклов в различных экосистемах. Коэффициент биогеохимического круговорота может применяться для коррекции величин коэффициента внутриэкосистемного биологического круговорота, C_b .

В докладе показаны комбинации почвенно-биогеохимических и температурных условий в различных географических регионах Земли. Представлены характеристики лесных экосистем, типы почв по классификации FAO, коэффициенты внутриэкосистемного биологического круговорота, C_b , активной температуры, C_t , и биогеохимического круговорота, C_x .

Величины коэффициентов биогеохимического круговорота, C_x , для всех географических регионов были ранжированы для определения типа биогеохимического круговорота. Выделены 5 типов биогеохимического круговорота: очень интенсивный, интенсивный, умеренный, депрессивный и очень депрессивный.

Интенсивный и очень интенсивный тип биогеохимического круговорота наблюдается в тропических лесных и саванных экосистемах, в которых происходит быстрый биологический круговорот в условиях высокой температуры вегетационного периода.

Умеренный тип круговорота характерен для лесостепных и суббореальных лесных экосистем, тогда как в бореальных таёжных лесах преобладает депрессивный тип биогеохимического круговорота. Очень депрессивный тип круговорота цикла отмечается в лесотундровых экосистемах.

Используя выше описанные подходы, в докладе рассмотрены основные глобальные лесные экосистемы на различных континентах.

Таким образом, описание проблем региональной биогеохимии предоставляет возможность понимания качественных и количественных параметров, характеризующих биогеохимический круговорот в различных лесных экосистемах и географических регионах Земли. При этом почвенно-географическое и экосистемное районирование рассматривается как основа для пространственного понимания биогеохимических циклов. Эти параметры также играют важную роль при оценке антропогенного воздействия в различных импактных зонах.

РАЗЛИЧИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ЛЕСНЫХ ПОЧВ ПОД РАЗНЫМИ ДРЕВОСТОЯМИ И ТИПАМИ ЛЕСА

Быховец С.С.¹, Линкосало Т.²

¹ИФХиБПП РАН, Пущино; ²Научно-исследовательский институт леса Финляндии (METLA), Вантаа, Финляндия
s_bykhovets@rambler.ru

Температура почвы является одним из основных факторов, определяющих скорости почвенных биогеохимических процессов. Однако мы далеко не всегда располагаем данными о температуре почвы в условиях леса, хотя понятно, что она может существенно отличаться как от температуры воздуха, так и от температуры почвы в стандартных условиях метеорологических станций (на открытом месте, под косимой травой или, тем более, черным паром). Более того, следует ожидать, что температура почвы в лесу может зависеть от характеристик самого леса.

Используя литературные данные о температуре почвы в лесу, мы попытались разработать простой метод ее приближенной оценки по доступным метеорологическим данным. Мы приняли, что тепловое состояние корнеобитаемого слоя минеральной почвы может быть охарактеризовано ее температурой на глубине 20 см (Димо, 1972), к тому же, это минимальная глубина, на которой, как правило, производятся круглогодичные измерения. Оценка температуры лесной подстилки представляет отдельную задачу, пока недостаточно обеспеченную экспериментальными данными. Пока мы считаем возможным, в первом приближении, принимать ее равной температуре воздуха летом, и температуре нижележащей минеральной почвы зимой.

Для перехода от температуры воздуха к температуре почвы в лесу, казалось бы, можно попытаться использовать разности значений температуры почвы в лесу и воздуха на метеорологической площадке. Однако, такой подход, хотя и дает удовлетворительный результат в летние месяцы, но едва ли применим в зимние. Зимой изменчивость температуры почвы существенно меньше изменчивости как самой температуры воздуха, так и соответствующих разностей. Поэтому оценка температуры почвы по температуре воздуха и среднему значению разности неправдоподобно завышает изменчивость температуры почвы. Причем, температура почвы в это время находится вблизи критических значений, при которых практически прекращается биологическая активность (0–3°C), но далеко не всегда опускается ниже этих значений, даже на севере лесной зоны. Поэтому, без дополнительного исследования трудно утверждать, можно ли просто считать почву в течение зимы замерзшей и биологически неактивной, не вдаваясь в тонкости температурного режима. К тому же, имеющиеся короткие ряды наблюдений над температурой почвы в лесу, как правило, недостаточны для непосредственного изучения ее межгодовой изменчивости. Более целесообразным был признан несколько иной вариант (Быховец, Комаров, 2002):

— используя обширный опубликованный материал наблюдений сети метеорологических станций, построить статистическую модель изменений температуры почвы под “естественным” травяным покровом в связи с изменениями температуры воздуха;

— на основе относительно коротких рядов наблюдений над температурой почвы на лесных стационарах оценить годовой ход разности температур почвы в лесу и под травяным покровом на метеорологической площадке.

Преимущество такого подхода состоит в том, что для температуры почвы под травой имеется достаточно обширный экспериментальный материал, а изменчивость разностей температур почвы под лесом и под травой летом обычно не больше, а зимой — существенно меньше, чем изменчивость разностей “почва-воздух”. Разности температур почвы в лесу и на метеорологической площадке, в зависимости от доминирующей породы древостоя оценивались по материалам наблюдений над температурой почвы на лесных стационарах (Воронков и др., 1976; Елагин, Изотов, 1968; Лучшев, 1940; Молчанов, 1961; Павлов, 1975; Руднева, 1973, и др.). В некоторых из упомянутых работ измерения температуры почвы под травяным покровом на открытом месте производились непосредственно на стационарах. В других — приведены данные только для леса, и температура почвы под травой была нами взята из Климатологических справочников и Метеорологических ежемесячников по ближайшим метеорологическим станциям. Станции, по возможности, выбирались с близкими по типу, или хотя бы гранулометрическому составу, почвами, на расстоянии до 100 км. Полученные разности оказались достаточно существенными, но при этом относительно стабильными в пределах довольно обширного региона, что позволяет в первом приближении считать их не зависящими от других факторов (пока очевидна лишь зависимость от видового состава древесного яруса). Более того, найденные позже данные для лесов Польши (Wyniki..., 1956–1966) и Финляндии (Results..., 1979 и др.) также удовлетворительно согласуются с ранее использованными данными и полученными из них выводами.

Анализируя все упомянутые данные можно сделать вывод о том, что в темнохвойных лесах указанная разность температур более интенсивно растет (по абсолютной величине) весной, с максимумом в мае-июне (почва на 4–6°C холоднее воздуха), и затем постепенно уменьшается в течение лета-осени. В лиственных лесах —

ход разности температур более симметричный, с максимумом в середине лета (в дубравах — 3—5°C). Форма годового хода в светлохвойных лесах занимает промежуточное положение. Объяснить это можно, на наш взгляд, тем, что в темнохвойных лесах весенний прогрев почвы наиболее ослаблен, вследствие большего ослабления солнечной радиации плотным вечнозеленым пологом. В лиственных лесах весной ослабление радиации не так велико, но усиливается по мере распускания листьев. К сожалению, данные круглогодичных наблюдений в лесу немногочисленны. Более обширный материал, имеющийся для летних месяцев, требует дальнейшего анализа. Очевидно, разности температур почвы под лесом и на открытом месте (под косимой травой на метеорологической станции) могут зависеть также от почвенно-климатических зон, типа напочвенного покрова, и ряда других факторов. В частности, в северотаежных ельниках эта разность больше (температура почвы еще более, на 8—10°C, понижена по сравнению с температурой воздуха (Галенко, 1983)). Это может быть связано с более выраженным моховым покровом и более мощной подстилкой, обладающими пониженной теплопроводностью.

Полученные разности температур представляются вполне применимыми для оценки температуры лесных почв, по крайней мере, в зонах южной и средней тайги, а также широколиственных лесов.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 12-04-01269) и Программы межкакадемиического сотрудничества между РАН и Академией Финляндии (проект 3)

Литература

1. Простой статистический имитатор климата почвы с месячным шагом // Почвоведение. 2012, № 4, с. 44, Температурный режим почв под лесом и залежью в условиях Подмоскovie // Почвоведение. 1979. № 6. С. 90–99.
3. Фитоклимат и энергетические факторы продуктивности хвойного леса Европейского Севера. Л.: На Температура почвы в сосняках лесной зоны в различные периоды года // Почвоведение. 1968. № 6. С. 138–142.
6. Данные по влиянию леса на температуру почвы // Труды ВНИИЛХ, 1940, вып. 18, с. 279–287.
7. Лес и климат. М.: Наука, 1961. 278 с.
8. Теплообмен почвы с атмосферой в северных и умеренных широтах территории СССР. Якутск: Якутское книжное издательство, 1975. 302 с.
9. Влияние лесных насаждений на водно-физические свойства и температурный режим таежных поверхностно-глееватых почв заповедника «Кивач», сформировавшихся на ленточных глинах // Труды Гос. заповедника «Кивач». Вып. 2. Петрозаводск, 1973. С. 35–77.
10. Results of soil temperature measurements in Finland, 1961-1970. Soil Temperature Measurements No. 3. Helsinki: FMI, 1979. 59 p.
11. Wyniki pomiarów na leśnych stacjach meteorologicznych, 1949–1960 rr. Warszawa: Wydawn. Komunikacji i Łączności, 1956–1966.

ПОСЛЕПОЖАРНОЕ ПОЧВООБРАЗОВАНИЕ В ЛЕСАХ ИЗ ЕЛИ АЯНСКОЙ И ПИХТЫ ПОЧКОЧЕШУЙНОЙ НА СРЕДНЕМ СИХОТЭ-АЛИНЕ

Гладкова Г.А., Бутовец Г.Н.
БПИ ДВО РАН, Владивосток
gladkova@ibss.dvo.ru

Территория, занятая темнохвойными лесами, на российском дальнем Востоке постоянно испытывала влияние пожаров. Послепожарное почвообразование в почвах Южного и Среднего Сихотэ-Алиня изучалось в основном в кедрово-широколиственных лесах А.П. Сапожниковым, Л.О. Карпачевским с сотрудниками ДальНИИЛХа и МГУ. Почвы пихтово-еловых лесов изучены в меньшей степени. Помимо пожаров на динамику этих лесов большое влияние оказывало массовое усыхание, которое происходило неоднократно и охватывало обширные площади; отдельные небольшие очаги усыхающих лесов появляются и в настоящее время.

В ходе мониторинга состояния пихтово-еловых лесов (Манько, Гладкова, 2001) было установлено, что одновозрастные и условно одновозрастные леса сохнут более интенсивно по сравнению с разновозрастными ненарушенными лесами, а появляются такие леса главным образом после пожаров.

Целью нашего исследования было установить, насколько часто пихтово-еловые леса Среднего Сихотэ-Алиня имеют послепожарное происхождение, так как такие леса должны подвергаться более пристальному мониторингу. Исследования проводились на горных плато (высота над уровнем моря 600—1000 м), сложенных базальтами и андезибазальтами, в лесах образуемых елью аянской (*Picea jezoensis* (Sieb. et Zucc.) Carr.) (= *P. ajanensis*) и пихтой почкочешуйной или белокорой (*Abies nephrolepis* (Trautv.) Maxim.) в бассейнах рек Японского моря (Единка, Дагды, Кабанья, Светлая, Большая Пея, Дунья) и в бассейне р. Бикин (Килоу, Сагды-Биаса, Зева).

Значительное влияние на характер почвенного покрова горных платобразных поверхностей Сихотэ-Алиня оказывает длительная сезонная мерзлота и сезонное переувлажнение почв. Современное состояние почвенного покрова во многом определяется частотой прерывистости его развития в результате эолового, пирогенного и антропогенного процессов.

Основными типами почв, формирующимися под лесами из ели аянской и пихты почкочешуйной являются ржавоземы (относимые ранее нами к грубогумусовым буроземам), подзолистые и подбуры.

Все рассматриваемые почвы в большей или меньшей степени испытали в прошлом воздействие пожаров. Время прохождения последних пожаров датируется 2006 и 2007 г. Установлено, что все почвы имеют следы воздействия пожаров. Некоторые участки прогорали приблизительно 60—180—220—260—500 лет назад. В основном леса прогорали неоднократно, об этом свидетельствует наличие углей в разных почвенных горизонтах. Так, встречаемость углей в горизонтах может быть представлена следующим образом: 50% в подстилке, 9% — в грубогумусовом горизонте. 23% — в гор. АУ, 18% в иллювиальных горизонтах.

В нижней части подстилки и в горизонте АУ часто встречаются углистые сферические образования (диаметр около 1—3 мм), похожие на грибные склероции. Присутствие сферул в лесных почвах Приморья отмечалось Г.М. Миньковским и С.А. Шоба (1994). А.С. Скотт с соавторами (2010), анализируя углеродистые сферулы

13-тысячелетней давности, пришли к выводу, что сферулы соответствуют склероциям, которые могли возникнуть при слабых лесных пожарах.

Характерной особенностью рассматриваемых почв является присутствие в профиле обломков породы, покрытых часто черно-бурыми глянцевыми кутанами. Мы полагаем, что глянцевые пленки имеют в ряде случаев послепожарное происхождение, так как приурочены они к горизонтам АУ1 и АУ2 и покрывают иногда только верхнюю часть породы (Манько, Гладкова, 2001). Иногда в послепожарных пихтово-еловых лесах Среднего Сихотэ-Алиня (для Северного Сихотэ-Алиня это явление более характерно) на слое углей развивается мощный микогоризонт.

На усложнение структуры почвенного покрова после пожаров обращал внимание Сапожников А.П. с соавторами (2001). По их мнению, все многообразие горных почв Сихотэ-Алиня определяется пожарами. В зависимости от срока прохождения пожара меняется запас органического углерода в 0—30 см почвенной толще. Так в почве пихтово-елового ельника с рододендроном золотистым, который не горел около 500 лет, запасы С орг. составляют около 200 т га⁻¹, в почве молодого 50—60-летнего послепожарного пихтово-елового леса всего 30 т га⁻¹; а в среднем в 180—200-летнем древостое запасы достигают 80—90 т га⁻¹.

Для пирогенных почв пихтово-еловых лесов развивающихся в сходных экологических условиях, в зависимости от топографии, определяющей степень увлажнения и дренированности, а также времени прохождения последнего пожара характерно разнообразие набора почвенных горизонтов и разновидностей ржавоземов типичных, ржавоземов грубогумусовых, ржавоземов оподзоленных, ржавоземов глееватых и органо-ржавоземов (бассейн рек Японского моря). В бассейне реки Бикин почвы по морфологическим описаниям могут быть классифицированы как подбуры.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ЛЕСНОГО ЦЕНОЗА

Грабарник П.Я.¹, Алейников А.А.², Ефименко А. С.², Безрукова М.Г.¹
¹ИФХиБПП РАН, Пущино, ²ЦЭПЛ РАН, Москва
grya@rambler.ru

Анализ пространственной структуры экологических систем и процессов, влияющих на ее изменения, становится в последнее время одной из важнейших задач экологических и биогеоценотических исследований. Интерес к изучению пространственных отношений между растениями в сообществе связан с пониманием того, что пространственная структура является существенным детерминантом развития популяции растений, определяя судьбу растения как на ранних стадиях, так и в течение всей жизни.

К настоящему времени накоплен большой экспериментальный материал и сформулированы биологические гипотезы, объясняющие механизмы, влияющие на скорость роста и выживаемость растений в сообществе. Предложены модели, описывающие популяционные механизмы, регулирующие отношения деревьев в сообществе. Эти теоретические концепции позволяют приблизиться к пониманию основ устойчивого развития лесных экосистем. Например, популярная гэд-теория построена на предположении о следующих этапах динамики древостоя: 1) образовании «окна» в пологе леса за счет усыхания или вывола отмершего дерева, 2) появления в «окне» многочисленного подроста 3) развитие

подроста, заканчивающееся тем, что одно или несколько молодых деревьев вырастают в полог, закрывая «окно», 4) отмирание оставшегося подроста (Yamamoto, 1992). В случае смешанного широколиственно-темнохвойно-кедрового леса на основе результатов дендрохронологического и пространственного анализа было показано (Ухваткина, Омелько, 2011), что расположение подроста не определяется размещением деревьев верхнего полога, а связано с размещением существовавших в прошлое время «окон» в древостое. Таким образом, развитие хвойного подроста согласно выводам Ухваткиной и Омелько (2011) происходит в несколько этапов: вначале подрост накапливается под пологом древостоя, а затем последовательно выходит во второй и первый полог, при этом периоды быстрого роста чередуются с длительным угнетением. Эта концепция подтверждается анализом карт расположения деревьев на лесной территории методами статистического анализа, основанного на применении мер второго порядка. В данной работе анализируется пространственная организация ельничко-пихтового древостоя. Биологический интерес представляет задача анализа пространственной структуры подроста, которая позволяет высказать гипотезы о процессе возобновления лесов данного типа. С математической точки зрения интерес представляет задача, связанная с различением эффектов первого и второго порядков. Эффектами первого порядка называют нарушения однородности пространственных случайных процессов, описывающих размещение подроста по лесной территории, в то время как эффекты второго порядка связаны с корреляционной структурой случайной системы.

Материалы и методы. В работе анализируются планы расположения деревьев верхнего полога и подроста. Материал собран в Печоро-Илычском заповеднике (средняя тайга) в елово-пихтарнике крупнопоротниковом. Для анализа точечных структур, состоящих из точек нескольких типов, обычно используется частная (или кросс-) K-функция Рипли и парная корреляционная функция $g(r)$, которые определяются с помощью среднего числа пар различных точек, расположенных друг от друга на расстоянии меньше фиксированного числа. Вместо K-функции Рипли удобнее работать с ее модифицированную формой — L-функцией, которая имеет как графические так и статистические преимущества, в частности, ее дисперсия почти постоянна в широком диапазоне шкал. Стандартной задачей, в которой используется кросс L-статистика является проверка "независимости" типов точек при фиксированном расположении объектов. В нашем случае мы интересуемся значимостью отличия наблюдаемой L-функции от типичных L-функций, которые соответствуют паттернам с фиксированным расположением деревьев верхнего полога и случайным расположением подроста.

Результаты. В результате проведенного анализа можно говорить о том, что возможности возобновления у растений расположенных на расстояниях до 3—4 метров в данном типе леса ограничены, так как подрост не получает достаточного ресурса для роста. Доля подроста расположенного на периферии крон деревьев верхнего полога относительно высокая главным образом из-за относительно низкой плотности подроста на открытых участках. Форма кривой L-функции на расстояниях от 8 метров и больше свидетельствует о наличии эффектов первого порядка, которые выражаются в повышенной доле участков с низкой плотностью деревьев. Это подтверждается также статистическими расчетами, основанными на мерах распределения расстояний до ближайшего объекта. С биологической точки зрения наблюдаемый эффект объясняется низкой приживаемостью древесных видов растений из-за высокой конкуренции со стороны травянистых видов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты №12-04-01527, 12-04-33193, 13-04-01491) и гранта Президента РФ для молодых ученых (проект МК-2102.2012.4).

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОСТАВА И БИОМАССЫ МИКРОГРУППИРОВОК ВИДОВ НАПОЧВЕННОГО ПОКРОВА В ХВОЙНЫХ ЛЕСАХ КОСТРОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Грозовская И.С.¹, Ханина Л.Г.², Бобровский М.В.¹, Смирнов В.Э.²

¹ИФХиБПП РАН, Пущино, ²ИМПБ РАН, Пущино

irinagrozkovskaya@gmail.com

Современный этап изучения механизмов функционирования лесных экосистем с помощью методов моделирования затронул необходимость учета всех экосистемных компонентов, в том числе напочвенного покрова, под которым будем понимать травяно-кустарничковый и мохово-лишайниковый ярусы. Основными процессами, определяющими роль напочвенного покрова в функционировании лесных экосистем, являются образование и отчуждение органического вещества. Решение задач моделирования динамики напочвенного покрова требует выделения групп видов растений, функциональная роль которых будет определяться их продукционными характеристиками, прежде всего, образованием биомассы.

Нами разработана база данных «Биомасса», включающая в себя информацию по надземной и подземной биомассе и продуктивности видов и групп видов сосудистых растений, мохообразных и лишайников, главным образом, по гемибореальной и бореальной зонам Европейской России. В базу включены данные из 79 литературных источников 1962—2012 гг. Это информация по биомассе напочвенного покрова хвойных лесов, а также данные по производным мелколиственным лесам. По хвойным лесам дана информация для наиболее распространенных типов – ельники черничные, кисличные, зеленомошные, долгомошные и др. Недостаточно данных по биомассе напочвенного покрова редких в сукцессионном отношении высокотравных и крупнопапоротниковых типов хвойных лесов. Задача наших исследований заключалась в пополнении базы данных недостающей информацией по биомассе видов и групп видов растений напочвенного покрова старовозрастных лесов.

В качестве объектов исследования выбраны старовозрастные еловые и пихто-еловые леса северо-востока Костромской области. Сбор данных проводили в 2011—2012 гг. в трех административных районах области: Кологривском, Межевском, Октябрьском. Исследованы шесть типов леса: 1) пихто-ельник бореально-мелкотравно-чернично-крупнопапоротниковый, 2) пихто-ельник разнотравный, 3) ельник черничный, 4) липо-ельник крупнопапоротниковый, 5) ельник бореально-мелкотравный, 6) ельник высокотравный. Для сбора полевого материала в первых трех типах леса закладывали по одной учетной площади, в 4—6 типах леса — по три учетные площади размером 40×40 м. В напочвенном покрове выделяли микрогруппировки видов по сходству видового состава и доминирующей эколого-ценотической группе (ЭЦГ). В микрогруппировках закладывали площадки 25×25 см, для которых составляли список видов сосудистых растений и мохообразных с учетом их обилия. На площадках срезали надземную часть сосудистых растений с разделением на виды. На той же площадке выкапывали монолит размером 25×25 см на глубину корнеобитаемого слоя (20—25 см) с последующим разделением подземных частей сосудистых растений по видовой принадлежности. При анализе для каждой площадки 25×25 см рассчитывали суммарную надземную и подземную биомассу растений. Проверку качества выделения микрогруппировок видов в напочвенном покрове исследованных типов фитоценозов проводили методом неметрического многомерного шкалирования (Non-metric MultiDimensional Scaling, NMS).

Всего в указанных типах леса было заложено 195 площадок по надземной биомассе, 165 — по подземной. В напочвенном покрове исследованных фитоценозов с учетом доминирующей ЭЦГ выделены пять основных типов микрогруппировок: бореально-мелкотравная (Br), бореально-неморальная (BN), бореально-кустарничковая (Vm), крупнопапоротниковая (Lf) и высокотравная (ТН). Br микрогруппировка встречается во всех типах леса, кроме ельника высокотравного. Доминантами в ней выступают один из следующих видов, либо их сочетание (*Oxalis acetosella*, *Maianthemum bifolium*, *Gymnocarpium dryopteris*, *Phegopteris connectilis*). BN микрогруппировка отличается менее ярким доминированием видов. Например, в липо-ельнике крупнопапоротниковом доминантами для BN микрогруппировки выступают *Stellaria holostea*, *Oxalis acetosella*, *Maianthemum bifolium*; в пихто-ельнике разнотравном — *Pulmonaria obscura*. Vm микрогруппировку образует *Vaccinium myrtillus*. Lf микрогруппировка характеризуется наличием одного вида-доминанта — *Dryopteris dilatata* — и встречается во всех изученных нами фитоценозах. Наиболее ярко доминирование разных видов проявлялось в ТН микрогруппировке. В ней мы выделили группы с доминированием отдельных представителей высокотравья: *Athyrium filix-femina*, *Diplazium sibiricum*, *Aconitum septentrionale*, *Cirsium oleraceum*, *Filipendula ulmaria*.

Анализ результатов NMS показал, что как по значениям биомассы видов, так и по значениям их проективного покрытия одинаковые типы микрогруппировок сходны в разных типах леса, а разные типы микрогруппировок хорошо различаются между собой, в то время как по типам леса результаты ординации существенно хуже группируются. Сравнительный анализ по надземной биомассе показал наличие значимых различий Br микрогруппировки от Vm, ТН и Lf микрогруппировок; Vm — от ТН и Lf микрогруппировок, отсутствие значимых различий между ТН и Lf микрогруппировками. Надземная биомасса возрастает в ряду Br → BN → Vm → Lf → ТН. Минимальные значения принимают Br и BN микрогруппировки, промежуточные — Vm, максимальные — ТН. Например, в ельнике бореально-мелкотравном доминирующая в напочвенном покрове Br микрогруппировка имеет среднее значение 35 г/м², BN микрогруппировка в пихто-ельнике разнотравном — 63.4 г/м², Vm микрогруппировка в ельнике черничном — 252.2 г/м², Lf микрогруппировка в липо-ельнике крупнопапоротниковом — 333 г/м², ТН микрогруппировка в ельнике высокотравном — 448 г/м². Среди ТН микрогруппировок ельника высокотравного самые высокие средние значения по надземной и подземной биомассам принимает ТН микрогруппировка с доминированием *Athyrium filix-femina* (надземная биомасса 1131 г/м², подземная — 2962.5 г/м²), ТН микрогруппировка с доминированием *Filipendula ulmaria* (539.3 г/м² и 693.2 г/м²), самые низкие — ТН микрогруппировка с доминированием *Diplazium sibiricum* (240 г/м² и 466.8 г/м²). Подземная биомасса возрастает в ряду Br → BN → Vm → ТН → Lf. Среднее значение подземной биомассы Lf микрогруппировки в липо-ельнике крупнопапоротниковом составляет 1161.4 г/м². Таким образом, результаты сравнительного анализа показывают, что, по собранным экспериментальным данным, существуют различия в значениях надземной и подземной биомассы между пространственными микрогруппировками видов, выделяемым в лесном напочвенном покрове по доминирующей ЭЦГ. Данные результаты хорошо согласуются с результатами, полученными при обработке литературной базы данных.

Работа проводилась при поддержке Программы № 30 фундаментальных исследований Президиума РАН, проект «Экосистемные функции живого напочвенного покрова бореальных лесов Европейской России».

ВЛИЯНИЕ ПОЖАРОВ НА ИЗМЕНЕНИЕ ПОЧВЕННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА И СОДЕРЖАНИЕ ПАУ В ЛЕСНЫХ ПОЧВАХ РЕСПУБЛИКИ КОМИ

Дымов А.А., Габов Д.Н., Низовцев Н.А., Жангуров Е.В., Дубровский Ю.А.
ИБ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар
aadymov@gmail.com

Пожары являются одним из основных факторов, изменяющих бореальные леса и таежные почвы. Наибольшей степени трансформации при пожарах подвержено органическое вещество таежных экосистем. При низовых пожарах выгорают подстилка, верхние гумусовые горизонты, корни и корневой детрит, изменяется вклад различных компонентов растительного опада в биогеохимический цикл, увеличивается доля компонентов с высокой степенью разложения. В результате пирогенного воздействия нарушается сложившийся материально-энергетический обмен между атмосферой и почвой. Несмотря на слабую изученность, пожары остаются одним из важнейших факторов изменения таежных экосистем Европейского Севера и лесных почв в частности. Интенсивность горения лесов и площади лесов, пройденных пожарами, в существенной степени зависят от климатических условий летнего периода. Только на территории Республики Коми (РК) в период с 2007 по 2011 гг. ежегодная площадь земель лесного фонда, затронутая пожарами, составляла от 0.4 до 51 тыс. га, с общим числом учтенных лесных пожаров от 82 до 592 (Лесное..., 2012). В настоящее время для этого региона отсутствуют достоверные данные по постпирогенным изменениям морфологических свойств почв и закономерностям распределения органического вещества в них.

Цель данной работы заключалась в изучении изменения морфологических, физико-химических и химических свойств почв, массовой доли полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), гидрофобности почвенного органического вещества в постпирогенных автоморфных почвах.

Для оценки влияния пожара были подобраны участки, располагающиеся в средней и северной тайге РК. В средней тайге исследован участок сосняка кустарничково-зеленомошного, формирующийся на подзоле иллювиально-железистом, пройденный пожаром за 50 дней до отбора образцов, и фоновый участок, незатронутый пожаром. В северной тайге был исследован участок ельника кустарничково-зеленомошного, пройденный пожаром восемь лет назад, и фоновый к нему участок. Диагностику и классификационное положение почв определяли согласно (Полевой..., 2008) с рекомендациями (Сапожников и др., 2001; Краснощеков, 2011). Описание растительности проводили согласно общепринятым методикам. В основу определения ПАУ в почвах положены методики US EPA Method 8310. Для изучения амфифильных свойств органического вещества почв использовали жидкостную хроматографию гидрофобного взаимодействия (Милановский, 2009).

Проведенные исследования показали, что в иллювиально-железистых подзолах, формирующихся под сосняками кустарничково-зеленомошными, в течении первых месяцев после прохождения низового пожара формируются морфологические и физико-химические отличия от почв фонового участка. На участках с сохранившейся подстилкой наблюдается ее уплотнение. В верхней части подстилки формируется специфический пирогенный подгоризонт подстилки — Qpir(L). В подстилке и подзолистом горизонте возрастает доля углей и углистых включений. Часть органических соединений, растворимых в воде, мигрирует по профилю почвы, увеличивая содержание углерода и азота в верхних минеральных горизонтах,

диагностируемых как по морфологическим, физико-химическим и химическим свойствам. В почве фитоценоза, пройденного пожаром, существенно уменьшается доля запасов углерода сосредоточенного в подстилке, при возрастании доли углерода в минеральных горизонтах. В почве сосняка кустарничково-зеленомошного, пройденного пожаром, наблюдается подщелачивание подстилок, возрастание степени насыщенности основаниями, существенное увеличение ПАУ. По сравнению с фоновым участком, возрастание происходит как за счет 2—3-х ядерных полиаренов, так и более тяжелых ПАУ. В горизонте Q_{pir}(L) возрастают концентрации хризена, флуорена, пирена, антрацена, нафталина. Минеральные горизонты почвы сосняка, пройденного пожаром, характеризуются близким к почве контрольного участка общим содержанием ПАУ, но при этом в них возрастают массовые доли легких миграционно-способных полиаренов. Исследование амфифильности органического вещества почвы гари показало, что в подстилке наблюдается уменьшение доли наиболее гидрофильной фракции ПОВ, при возрастании доли лигниноподобных соединений четвертой фракции. Минеральные горизонты почв гари обогащены наиболее подвижными амфифильными фракциями органического вещества, что проявляется в увеличении как абсолютного, так и относительного содержания гидрофильных фракций, которые вероятно представлены продуктами горения растительных остатков и подстилки.

Для почвы восьмилетней гари северотаежного ельника сохраняются морфологические признаки влияния пожара, проявляющиеся в сложении подстилки, обилии углей в верхних минеральных горизонтах, переуплотнении подстилок и верхних минеральных горизонтов. Наблюдается перераспределение запасов углерода между подстилкой и минеральными горизонтами. На участке гари наблюдается возрастание степени насыщенности основаниями, как в подстилке, так и в верхних минеральных горизонтах по сравнению с почвой условно-фоновое участка. По сравнению с фоновой почвой, в почве гари выявлено возрастание общего содержания ПАУ. Наибольшие различия с фоновым участком выявлены в подстилке, в которой наблюдается возрастание всех ПАУ, за исключением фенантрена и антрацена. Наибольшее возрастание происходит за счет нафталина и хризена. По истечении восьми лет после пожара выявлено возрастание доли гидрофильных соединений в составе лабильных фракций органического вещества подстилок, увеличение доли гидрофобных соединений третьей и четвертой фракций в элювиальном горизонте по сравнению с почвой контрольного участка.

Работа выполнена при поддержке проектов РФФИ 13-04-00570-а, УрО РАН 13-4-НП-246 «Оценка влияния пожаров на почвы и почвенное органическое вещество» и гранта МК-1027.2013.4.

Литература

1. Краснощеков Ю.Н. Трансформация серогумусовых почв сосновых лесов под влиянием пожаров в юго-западном Прибайкалье // Лесоведение. 2011. № 2. С. 3-12.
2. Лесное хозяйство Республики Коми. 2012. Стат. Сб. / Комистат. Сыктывкар, 2012. 114 с.
3. Милановский Е.Ю. Гумусовые вещества почв как природные гидрофобно-гидрофильные соединения. М.: ГЕОС, 2009. 186 с.
4. Полевой определитель почв России. М., 2008. 182 с.
5. Сапожников А.П., Карпачевский Л.О., Ильина Л.С. Послепожарное почвообразование в кедрово-широколиственных лесах // Лесной вестник - вестник МГУЛ. 2001. № 1. С. 132-164.

ИЗМЕНЕНИЕ СОСТАВА ПОЧВ И ДОМИНИРУЮЩИХ РАСТЕНИЙ НА ПИРОГЕННЫХ СТАДИЯХ ЕЛЬНИКА КУСТАРНИЧКОВО-ЗЕЛЕНОМОШНОГО

Исаева Л.Г., Химич Ю.Р.
ИППЭС КНЦ РАН, Апатиты
isaeva@inep.ksc.ru

Лесные пожары являются важным фактором сукцессии бореальных лесов. Пожары являются мощным и активно действующим экологическим фактором современного почвообразования, оказывающим сложное и многоплановое влияние на формирование почвенного покрова лесных биогеоценозов. Почва, как неотъемлемая их часть, также подвергается сложному и разностороннему пирогенному воздействию, приводящему к заметным изменениям ее важнейших свойств (Parra et al., 1996; Куценогий и др., 2003; Ekinici, 2006 и др.).

Объекты исследований. Исследования проведены в период 2006—2009 гг. на территории Мурманской области: 1) в фоновых старовозрастных еловых лесах зеленомошных групп типов; 2) на пирогенных стадиях сукцессии ельника кустарничково-зеленомошного (6 и 15 лет после пожара). Ельник кустарничково-зеленомошный до пожара был с примесью березы и редкой сосны. Возраст ели 160—200, березы 70—90, сосны 160 лет. После низового устойчивого лесного пожара, возникшего в 1992 году, в верховьях реки Цаги выгорела территория площадью 180 га. В 2007 году пирогенная стадия сукцессии была представлена березняком политрихово-кустарничковым. Береза произрастала куртинами, высотой до 2.5—3.0 м. Имелось наличие большого числа сухостойных деревьев и послепожарного валежа ели. В напочвенном покрове местами был мощно развитый покров политрихумов.

Ельник кустарничково-зеленомошный до пожара был с примесью березы и редкой сосны, расположен в районе горы Оспе (340 м н.у.м.), примерно в 20 км западнее г. Апатиты. Возраст ели 200, березы 90—100, сосны 220 лет. В 2002 году после низового устойчивого пожара на юго-западном склоне горы выгорело 64 га лесных насаждений. В 2008 году стадия пирогенной сукцессии представлена еловым кустарничковым редколесьем с обилием порослевой березы. Древостой состоял в основном из сухих стоящих елей с наличием большого количества елового бурелома и валежа. В подлеске присутствовали ива и рябина. В напочвенном покрове доминировали черника, брусника.

Методы исследований. Почвенные разрезы закладывали в основных типах парцелл в конце вегетационного периода в 2007—2008 гг. в трехкратной повторности, образцы отбирали из основных корнеобитаемых горизонтов подзолистых Al-Fe-гумусовых почв. Актуальную кислотность (pH) измеряли потенциометрически в водной вытяжке, используя соотношение почва:раствор для органогенных горизонтов как 1:25 и для минеральных горизонтов как 1:2.5. Для определения гидролитической и обменной кислотности образцы почв экстрагировали 1M $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ (pH = 7.0) и 1N KCl соответственно. Использовали те же соотношения почвы и вытеснителя, что и при определении pH. Суспензии оставляли на ночь, затем встряхивали в течение 2 часов и фильтровали. Для определения доступных для растений соединений элементов образцы почв экстрагировали 1M $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ (pH = 4.65). Для органогенных горизонтов использовали соотношения почвы и вытеснителя 1:25, для минеральных — 1:10. Образцы растений-доминантов — *Avenella flexuosa* (L.) Drej., *Chamaepericlymenum suecicum* (L.) Aschers. et Graebn., *Vaccinium myrtillus* L. и мхи р. *Polytrichum* — отбирали в трех повторностях. Металлы в растительных образцах определяли методом атомно-абсорбционной

спектрометрии после мокрого озоления в концентрированной HNO_3 , N — методом Къельдаля, P и S — колориметрически. Растительные образцы перед анализом не отмывали.

Результаты исследований. На динамику элементов питания в почвах после воздействия пожара оказывают влияние следующие процессы: привнос питательных элементов, содержащихся в золе и их последующее выщелачивание и выветривание. В первый год после пожара в сосновых лесах отмечены высокие содержания питательных элементов по сравнению с последующими стадиями пирогенной сукцессии (Смирнова, 2005; Лукина и др., 2008). Схожая тенденция наблюдается в еловых лесах, на начальном этапе после пожара органогенный горизонт обогащается питательными элементами за счет продуктов горения, затем происходит их выщелачивание.

В еловом редколесье с давностью пожара 6 лет в подкрановом пространстве в органогенном горизонте (F и H) концентрации Ca, Mn и P выше по сравнению с территорией пройденной пожаром 15 лет назад. В межкрановом пространстве кустарничковой парцеллы в органогенном горизонте почвы содержание питательных элементов богаче, чем в злаковой, особенно это проявляется на стадии сукцессии с давностью пожара 6 лет. С увеличением времени после действия огня отмечается увеличение концентрации Al и Fe как в органогенных, так и в минеральных горизонтах. При сравнении результатов основных доступных для растений элементов питания (Ca, Mg, K, P) в органогенном горизонте фонового ельника кустарничково-зеленомошного (не пройденного пожаром) с содержанием их в почвах после 6 и 15 лет после пожара отмечен недостаток этих элементов на стадиях пирогенной сукцессии.

Луговик является одним из видов травянистых растений в зональных типах ельников Севера, относится к типичным концентраторам калия (Лукина, Никонов, 1998). В надземных частях луговика на раннем этапе пирогенной сукцессии характерно высокое содержание Ca, Mg, K, Fe, Mn, Zn, P, S. Черника — типичный кальцефаг, с увеличением давности пожара в листьях черники отмечается некоторое повышение содержания Ca и Al. Дерен шведский отличается высокими показателями кальция по сравнению с другими исследуемыми видами растений. Со сроком давности пожара наблюдается увеличение в наземных частях дерена концентраций Ca, Mg, K, Al, Mn. Зеленые мхи (р. *Polytrichum*) являются выраженными кали-кальцефилами. На начальном этапе пирогенной сукцессии в зеленой части политрихума содержание Ca, K, Fe, P, S выше по сравнению с территорией пройденной пожаром 15 лет назад.

Литература

1. Куценогий К.П., Чанкина О.В., Ковальская Г.А., Савченко Т.И., Иванова Г.А., Иванов А.В., Тарасов П.А. Постпирогенные изменения элементного состава лесных горючих материалов и почв в бореальных лесах Сибири // Сибирский экологический журнал. 2003. № 6. С. 735-742.
2. Лукина Н.В., Никонов В.В. Питательный режим лесов северной тайги: природные и техногенные аспекты. Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 1998. 316 с.
3. Лукина Н.В., Полянская Л.М., Орлова М.А. Питательный режим почв северотаежных лесов. М.: Наука, 2008. 342 с.
4. Смирнова Е.В. Биохимические процессы в ходе послепожарной сукцессии в сосновых лесах на северо-западе России // Актуальные проблемы сохранения биоразнообразия растительного и животного мира Северной Фенноскандии и сопредельных территорий/ 5. Доклады Международной конференции. М.: Т-во научных изданий КМК. 2005. С. 214-221.
5. Ekinici H. Effect of forest fire on some physical, chemical and biological properties of soil in Çanakkole, Turkey // International Journal of Agriculture & Biology. 2006. Vol. 8. № 1. P. 102-106.
6. Parra J.G., Rivero V.C., Lopez T.I. Forms of Mn in soils affected by a forest fire // Sci. Total Environ. 1996. Vol. 181. P. 231-236.

ПОСЛЕПОЖАРНАЯ ДИНАМИКА ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОЧВ ЛЕСОВ БОРЕАЛЬНОЙ ЗОНЫ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА РОССИИ

Калимова И.Б., Дроздова И.В., Беляева А.И.
БИН РАН, Санкт-Петербург
Alyssum7@gmail.com

Пожары являются одним из основных факторов нарушения лесных экосистем. Они приводят к значительному изменению почвенных условий, поэтому процесс лесовосстановления во многом зависит от напряжённости постпирогенных факторов (Макарычев и др., 2011). В зоне северной тайги на моренных завалуненных песчаных отложениях сформированы альфегумусовые подзолы. Профиль таких почв характеризуется чёткой дифференциацией по химическому составу, который меняется под воздействием низовых пожаров (Переверзев, 2007).

Изучали характер изменений аккумуляции и подвижности минеральных элементов в профиле почв двух таежных подзон: северной и средней тайги с разной давностью пожара. В подзоне северной тайги: на Кольском полуострове в предтундровых еловых (*Picea abies* Ledeb.) лесах с давностью пожара >500 лет, а также во вторичных березовых (*Betula pubescens* Ehrh.) лесах, сформировавшихся на месте ельников через 52 года после пожара. И в подзоне средней тайги: на Северном Урале в Печеро-Илычском заповеднике в пихто — еловых (*Abies sibirica* Ledeb. и *Picea abies* Ledeb.) лесах с давностью пожара >500 лет и во вторичных березовых (*Betula pubescens* Ehrh.) лесах с давностью пожара 70 лет. Почвенные профили были заложены в нижней части пологих склонов холмистых моренных равнин, сложенных супесчаными и песчаными завалуненными отложениями, подстилаемыми суглинками. В образцах почв атомно-абсорбционным методом определяли содержание потенциально подвижных форм Cu, Ni, Zn, Fe, Mn и Co в 1н азотнокислых вытяжках. Показатели актуальной кислотности среды оценивали по величине pH водной почвенной суспензии, содержание органического вещества в почвенной подстилке — по величине потерь при прокаливании. Всего было проанализировано 86 образцов почв.

Установлено возрастание степени гумусированности почв сообществ с давностью пожара >500 лет — в среднем до 93% при среднем значении содержания органического вещества для почв сообществ с давностью пожара 70 лет — 62%. Это характерно для обеих исследуемых таежных подзон и возможно объясняется увеличением объёма опада на стадии климаксовых сообществ.

Известно, что лесная подстилка в бореальной зоне характеризуется низкими значениями актуальной кислотности среды. По нашим данным, в подзоне северной тайги с увеличением времени давности пожара pH этого горизонта практически не изменяется и имеет среднее значение 3.84. В подзоне средней тайги кислотность подстилки снижается в среднем от 4.65 для почв с давностью пожара 70 лет до 3.77 для почв с давностью пожара >500 лет. Для всех исследованных почв характерно снижение кислотности среды вниз по профилю. При этом значение pH горизонта С (материнской породы) находится в диапазоне от 4.82 до 6.41.

Химический анализ лесной подстилки показал, что в подзоне северной тайги в горизонте А0 почв сообществ с давностью пожара 52 года происходит увеличение содержания потенциально подвижных форм Cu, Ni, Fe и Zn по сравнению таковым для почв давностью пожара >500 лет. В то время как в последних наблюдается обогащение

потенциально подвижными формами Mn. В условиях средней тайги в подстилке почв с давностью пожара 70 лет наблюдается увеличение содержания потенциально подвижных форм Zn, а также Mn и значительное уменьшение содержания Fe по сравнению с почвами сообществ с давностью пожара >500 лет. Содержание Cu и Ni в подстилке данной лесной подзоны, вероятно, не зависит от пирогенного фактора. Показано значительное снижение содержания всех минеральных элементов в элювиальном горизонте A2 независимо от лесной подзоны и давности пожара. Содержание потенциально подвижных форм Fe в этом горизонте почв подзоны средней тайги с давностью пожара >500 лет в среднем в 2 раза больше, чем почвах через 70 лет после пожара. В почвах подзоны северной тайги такая зависимость отсутствует. В иллювиальном горизонте Bh для всех изученных почв наблюдается резкое увеличение содержания Mn, Zn, Cu, Ni и особенно Fe. При этом в данном горизонте почв с давностью пожара >500 лет обеих лесных подзон уровень накопления минеральных элементов значительно выше, чем в почвах с меньшей давностью пожара.

Таким образом, выявлены некоторые особенности химического состава подзолистых почв лесных сообществ бореальной зоны с разной давностью пожара, которые могут быть важны для режима минерального питания растений.

*Авторы выражают искреннюю благодарность сотрудникам БИН РАН В.В. Горшкову, И.Ю. Бакал, Н.И. Ставровой за предоставленные почвенные образцы.
Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ, проект № 11-04-01664*

Литература

1. Макарычев С.В., Малиновских А.А., Болотов А.Г., Беховых Ю.В. Послепожарные изменения почв и особенности флоры гарей равнинных сосновых лесов Алтайского края // Ползуновский вестник. 2011. № 4-2. С. 107-110.
2. Переверзев В.Н. Зональные особенности альфегумусового почвообразования на моренных породах Кольского полуострова // Почвоведение. 2007. № 1. С. 5-11.

ВЛИЯНИЕ АЗОТА НА МИНЕРАЛИЗАЦИЮ ПОСТУПАЮЩЕГО В ПОЧВУ ОПАДА

Квиткина А.К., Ларионова А.А.
ИФХиБПП РАН, Пущино
aqvia@mail.ru

Растительный опад — это основной источник поступления свежего органического вещества в почву. Опад является одним из наиболее чувствительных к азоту почвенных пулов углерода. Однако до сих пор обсуждаются не только механизмы, но и то, как азот влияет на минерализацию и гумификацию органического вещества: подавляет или стимулирует? Имеющиеся в литературе сведения противоречивы, в них можно найти свидетельства того, что при увеличении концентрации азота процессы разложения опада могут как усиливаться, так и подавляться.

Целью нашей работы было показать влияние C/N на разложение растительного опада. Отношение углерода к азоту или C/N — это ключевой показатель качества растительного опада, который используется для предсказания динамики его минерализации и гумификации.

Влияние органического азота, входящего в состав растений, рассматривалось на

примере 5 видов опадов разного происхождения. По величине отношения C/N они были выстроены в ряд: некромасса цианобактерий, C/N = 9; лиственный опад смешанного леса, C/N = 32; хвойный опад смешанного леса, C/N = 66; кора хвойных деревьев, C/N = 84 и древесина лиственных пород C/N = 206. Опады инкубировались в измельчённом состоянии в смеси песка с иллитом при 22°C и 70% ППВ. Концентрация CO₂ в пробах измерялась на газовом хроматографе. Минерализация органического вещества определялась нами как кумулятивная эмиссия углекислого газа, рассчитанная в процентах от внесённого углерода.

По результатам 90 суток инкубации наиболее интенсивно разлагался лиственный опад с C/N = 32, минерализовалось 33.11±2.57% углерода. Древесный опад с C/N = 206 разлагался наименее интенсивно, потери углерода в виде CO₂ составили 1.31±0.11%. На первый взгляд, мы получили обратную зависимость между минерализацией и величиной C/N в опаде: чем меньше C/N, тем интенсивней идёт разложение и потеря углерода биомассой, однако разложение некромассы цианобактерий является исключением из данной закономерности. Обладая самым малым C/N = 9, цианобактерии разлагаются медленнее листьев с C/N = 32. Таким образом, другие показатели качества растительного материала наряду с величиной C/N оказывают влияние на минерализацию.

По результатам ¹³C-ЯМР опады отличаются по содержанию структурных компонентов, то есть по количеству функциональных групп углерода: алифатических, ароматических, O-алкильных и карбонильных.

Для того чтобы оценить влияние азота на скорость разложения растительных тканей с одинаковым биохимическим составом к исходным опадом добавляли минеральный азот в виде раствора NH₄NO₃ различной концентрации. Самый широкий диапазон значений C/N был в варианте с древесным опадом (C/N = 206), где азот добавляли до величины C/N 190, 170, 150, 130 и 100, 50, 20, 10 и 5. В исходный хвойный опад (C/N = 66) и кору (C/N = 84) азот добавляли до значений C/N 50, 20, 10 и 5. Лиственный опад (C/N = 32) доводили до C/N 20, 10 и 5, а некромассу цианобактерий с C/N = 9 до величины C/N равной 5.

Оказалось, что внесение азота стимулировало минерализацию только бедных азотом субстратов: разложение древесного опада увеличивалось в диапазоне C/N от 206 до 100 и хвои в интервале от C/N=66 до 30, минерализация этих типов опада повышалась в 2—3 раза. Дальнейшее снижение C/N в древесном и хвойном опадах до величины 5 не сопровождалось изменением интенсивности минерализации. Вместе с тем минеральный азот не оказывал достоверного влияния на разложение коры хвойных деревьев во всем диапазоне изменения C/N от 84 до 5. На разложение богатого азотом опада листьев C/N=32 и цианобактериальной массы C/N = 9 добавление минерального азота оказывало противоположно направленное ингибирующее действие.

Дисперсионный анализ показал, что сильнее всего азот влиял на разложение древесного опада, где его вклад составил 37%. Степень влияния минерального азота уменьшалась в ряду древесный опад > хвоя > лиственный опад > некромасса цианобактерий > кора хвойных деревьев.

Очевидно, что происхождение и состав исследованных типов опадов модифицирует зависимость интенсивности разложения от содержания азота в опаде. Поэтому необходимо в отдельном опыте рассмотреть влияние азота на минерализацию индивидуальных органических соединений, составляющих опад.

Таким образом, разные по качеству компоненты растительного опада противоположно отвечают на внесение азота, создавая неопределенность в оценке влияния

содержания азота на скорость разложения растительных опавов. Дополнительным источником неопределенности является лимитирование разложения в определенном интервале C/N, который специфичен для каждого типа опада. В нашем опыте снижение C/N стимулирует минерализацию хвои и древесного опада и подавляет минерализацию листового опада и некромассы цианобактерий, не оказывая влияния на разложение коры.

СКОРОСТИ И ХАРАКТЕРНЫЕ ВРЕМЕНА РАЗЛОЖЕНИЯ ДРЕВЕСНОГО ОПАДА В ТЕМНОХВОЙНЫХ ЛЕСАХ СЕВЕРНОГО УРАЛА (ПЕЧОРО-ИЛЫЧСКИЙ ЗАПОВЕДНИК)

Кожина В.С.¹, Семиколенных А.А.^{1,2}

¹МГУ имени М.В. Ломоносова, Факультет почвоведения, Москва; ²ЦЭПЛ РАН, Москва
sunny-kitten26@yandex.ru

В настоящее время в связи с увеличивающимися выбросами CO₂ в атмосферу все большую важность приобретает способность леса депонировать (связывать и выводить из круговорота) углерод. Знания о масштабах образования валежа и скорости его трансформации позволили бы точнее рассчитывать потоки углерода, поступающие в почву, и его объемы, временно исключенные из круговорота, что способствовало бы созданию более эффективных моделей и объективным подсчетам потоков углерода. Существующие данные о периоде разложения древесного опада противоречивы и характеризуют лишь отдельные природные зоны.

В настоящее время известно несколько шкал разложения валежа в хвойно-бореальных лесах Северного полушария (Рипа, 1997; Широков и др., 2001; Стороженко, 2011), которые включают в себя от 4 до 7 стадий разложения валежа и отличаются друг от друга по численным значениям возраста полного разложения древесины (от 35 до 130 лет).

Район исследования относится к подзоне средней тайги (на ее северной границе). Образцы для исследования отбирались в предгорной части Печоро-Илычского заповедника в нижнем течении бассейна реки Большая Порожня (правый приток р. Печора), где в соответствии с критериями малонарушенных лесов (Восточноевропейские..., 2004)) расположены девственные пихто-еловые леса нескольких типов. Для района работ средняя продолжительность безморозного периода составляет 80-83 дня. Вегетационный период, когда среднесуточная температура превышает +10°C составляет 80—85 дней на равнине и 47—80 дней в предгорьях и на горах. Средняя многолетняя температура самого холодного месяца января –17.8°; самого теплого — июля +16.3°C. Общая годовая сумма осадков составляет: в равнинном районе 500—800 мм, в горном до 1000 мм. Основная часть осадков выпадает в теплый период года (апрель—октябрь). В виде снега выпадает до 40% годового количества осадков. Средняя продолжительность залегания снежного покрова на равнине 197 дней, в горах — до 220 дней.

Для описания стадийности трансформации и зарастания валежа использовали следующую шкалу (частично модифицированная шкала А.И. Широкова):

Стадия «нулевая». Недавно упавший ствол; древесина плотная; кора в значительной степени сохранилась.

С стадия 1. Древесина в основном плотная, более рыхлая и влажная на нижней части ствола; мелкие ветви отваливаются; кора отслаивается (может частично сохраняться); начинается колонизация ствола лишайниками и зелеными мхами.

Стадия 2. Древесина рыхлая, разламывается руками, однако, сохраняется относительно плотная сердцевина ствола; кора и мелкие ветки как правило отсутствуют; форма ствола от округлой до овальной; ствол полностью зарастает зелеными мхами; появляются сосудистые растения и проростки ели.

Стадия 3. Древесина рыхлая по всему сечению ствола; форма ствола хорошо видна, но сечение имеет уже овальную форму, частично погружено в лесную подстилку; проективное покрытие сосудистых растений значительно; ствол колонизируется черникой, корни прорастают в толщину ствола.

Стадия 4. Ствол теряет форму, на поверхности выделяется незначительное повышение; древесина представлена сильно рыхлым и волокнистым, полуразложившимся материалом в составе почвенной подстилки; напочвенный покров мало отличается от фона (косвенно диагностируется по обилию черники и подроста деревьев).

Стадия 5. Без вскрытия разрезом — практически не диагностируется, ствол не виден на поверхности; сохраняются отдельные сильно разложенные фрагменты древесины в составе почвенного органофилия.

Образцы древесины различных стадий анализировались методом радиоуглеродного датирования. Подготовка образцов включала: измельчение, отмывку от гуминовых кислот кипящей щелочью, отстаивание в течение суток, промывку от щелочи кипятком, дальнейшую обработку горячим раствором 25% соляной кислоты для удаления остатков щелочи и карбонатов, отстаивание в течение суток, отмывка от кислоты и просушка при температуре около 70°C. Анализ выполнялся в лаборатории Института географии РАН. Полученные возрасты позволили определить скорости и характерные времена различных стадий трансформации древесины.

В крупно папоротниковом пихто-ельнике, где формируются сильно турбированные ветровальными процессами подзолы иллювиально-гумусовые, возрасты образцов валежа ели составили: для второй стадии разложения 170—350 лет (выборка 5 образцов); для третьей стадии разложения 400-660 лет (выборка 4 образца). Для валежа березы третьей стадии 220 лет (1 образец). Для высокотравного пихто-ельника, где формируются более богатые органическим веществом буроземы грубогумусовые, возрасты образцов валежа ели третьей стадии составили 400—500 лет (выборка 2 образца). Для трех образцов начала второй стадии разложения были получены «современные» возрасты (активность C^{14} выше 100%).

В существующих шкалах ожидаемые возрасты полного разложения древесины ели не превышают 130 лет. Однако, в нашем исследовании на выборке из 15 образцов было показано, что характерные сроки трансформации валежа в малонарушенных бореальных лесах средней и северной тайги, по-видимому, должны характеризоваться иными диапазонами. Первые 100 лет ствол валежа в значительной степени сохраняется. Процессы, происходящие на средних стадиях разложения древесины, могут занимать от 150 до 600 лет. Ожидаемое время полной гумификации древесины явно превышает 500 лет и, вероятно, до 1000 лет.

Отмечается варьирование возраста в зависимости от типа леса и породы дерева, однако, вероятно, ведущим фактором, влияющим на изменение возрастов разложения валежа, является характер гибели дерева (наличие стадии сухостоя, пораженность гнилями и др.), а также положение ствола в момент его падения (завис, частично лег на бугор, лег ровно на почву и т.п.), что влияет как на физико-химические свойства древесины (промачивание, прогрев), так и на возможность колонизации древесины микроорганизмами, грибами и растениями.

Работа выполнена при поддержке фонда РФФИ, проект 12-04-01786а

Литература

1. Восточноевропейские леса: история в голоцене и современность. Под ред. Смирновой О.В. М., Наука. 2004.
2. Рипа, С.И. Популяционно-ценотический анализ горных буковых и смешанных лесов Украинских Карпат. Автреф. дисс. канд. биол. наук. М., 1997.
3. Стороженко В.Г. Древесный отпад в коренных лесах Русской равнины. М., КМК, 2011.
4. Широков А.И. и др. Особенности гумификации валежа и динамика напочвенного покрова в пихтово-ельниках липовых нижегородского Заволжья // Вестник Нижегородского университета. 2001, №1. Стр. 18-24.

УГЛЕРОДНЫЙ ЦИКЛ В ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ЮЖНОЙ ТАЙГИ: ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ТРЕНДОВ И ПОГОДНЫХ АНОМАЛИЙ

Курганова И.Н.¹, Лопес де Гереню В.О.¹, Мякшина Т.Н.¹,
Сапронов Д.В.¹, Савин И.Ю.², Кудеяров В.Н.¹

¹ИФХиБПП РАН, Пущино; ²Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН, Москва
ikurg@mail.ru

В зоне южной тайги с ее умеренно-континентальным климатом прогнозируемые и наблюдаемые климатические изменения проявляются в уменьшении количества осадков в весенне-летний период, которые на фоне направленного роста температур воздуха приводят к продолжительным атмосферным и почвенным засухам (Оценочный доклад..., 2008). Вероятность этого тренда в конце XX века составила более 66% и сохраняется в текущем столетии (Гулев и др., 2008). Отрицательные последствия аномально засушливых весенне-летних периодов могут проявляться не только в снижении первичной продуктивности ценозов (Cias et al., 2005; Schar et al., 2004) и вследствие этого уменьшения поступления растительных остатков в почву, но и в возможном усилении минерализации почвенного органического вещества, вызванного увлажнением почв после засух (Ларионова и др., 2010; Unger et al., 2010).

В рамках классической и весьма актуальной в настоящее время проблемы влияния климата на растительность и почвы необходимо понять насколько устойчивыми к изменению внешних условий являются основные компоненты ведущего биогеохимического цикла в наземных экосистемах — цикла углерода, который посредством обратных связей находится в тесном взаимодействии с изменениями климата. Цель настоящего исследования состояла в оценке влияния наблюдаемых климатических изменений и экстремальных погодных явлений на основные компоненты углеродного цикла в лесных экосистемах, выполненную на основе сопряженного анализа трендов и аномалий основных климатических параметров (температура воздуха и количество осадков), эмиссионной и продукционной составляющих углеродного цикла.

Лесные биогеоценозы, на которых непрерывно, с ноября 1997 по октябрь 2012 г., велись круглогодичные наблюдения за интенсивностью выделения CO₂ из почв, располагались на юге Московской области: на территории Приокско-террасного государственного биосферного заповедника (N 54°55' E 37°34'; дерново-слабоподзолистая супесчаная почва; смешанный лес) и на бывшей опытно-полевой

станции ИФХиБПП РАН (N 54°20' E 37°37'; серая лесная суглинистая почва; вторичный лиственный лес). Эмиссию CO₂ из почв, или общее почвенное дыхание (SR), представляющее суммарное дыхание почв, подстилки и корней растений, определяли круглогодично с интервалом 7—10 дней, используя камерный статический метод (Kurganova et al., 2003). Продукционная составляющая углеродного цикла (PC) оценивалась с 2001 по 2012 гг. с помощью вегетационного индекса NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) методом дистанционного зондирования среднего пространственного разрешения MODIS. Анализ тенденций в изменении величины эмиссионной и продукционной составляющих углеродного цикла в связи с наблюдаемыми климатическими изменениями проводился на основе построения линейных трендов, статистическая достоверность которых оценивалась методом наименьших квадратов. Отклик SR и PC на экстремальные погодные условия рассчитывался по величине месячных, сезонных и годовых аномалий этих величин, отнесенных к их средним многолетним значениям за соответствующие периоды.

В 1998—2011 гг. был выявлен отчетливый тренд увеличения среднегодовой температуры воздуха, который на фоне уменьшения годового количества осадков, выразился в наблюдаемом усилении засушливости климата в Южном Подмоскowie. За этот период в районе исследований наблюдалось 6 засух: 3 сильных (2002, 2007 и 2010 гг.) и 3 средних/слабых (2001, 2009 и 2011 гг.). Обнаруженные тенденции в изменении климата вызвали сопряженные тренды уменьшения суммарного годового дыхания почв в лесных экосистемах вследствие торможения в них процессов разложения органического вещества почвы и подстилки, обусловленных острым дефицитом влаги во время засух. Интенсивность обнаруженных негативных трендов составила -14.8 и -5.2 г C/м²/год для смешанного (дерново-подзолистая супесчаная почва) и лиственного (серая лесная суглинистая почва) лесов, соответственно. Связь между годовыми значениями SR и величиной гидротермического коэффициента Селянинова (ГТК) была достаточно тесной: коэффициенты детерминации, $R^2 = 0.37-0.40$. Негативные тренды для величины SR были обнаружены так же и на сезонном уровне осреднения (лето и осень). Отрицательные аномалии величины суммарного годового дыхания почв в лесных экосистемах, обусловленные засухами, в среднем составляли 22—27% и, как правило, были более выражены в смешанном лесу на песчаных дерново-подзолистых почвах. Отклик на засухи летних потоков CO₂ из почв лесных ценозов составил $-42,5\%$, в то время как дефицит весенних осадков определил менее выраженные негативные аномалии весенних потоков CO₂: 19% — в смешанном лесу и 7% — в лиственном.

Средние за летний период значения NDVI, характеризующие суммарную продукционную активность лесных экосистем, в 2001—2012 гг. также демонстрировали отчетливые негативные тренды с $R^2 = 0.25—0.35$. Однако, характер связи между средне-летними значениями NDVI и величиной ГТК был разным: положительным ($R^2 = 0.24$) — в лиственном лесу на суглинистой серой лесной почве и слабо-отрицательным ($R^2 = 0.11$) — в смешанном лесу на дерново-подзолистой почве. Вместе с тем, было обнаружено, что реакция продукционной составляющей смешанного леса на засухи проявляется с годовым запаздыванием: обнаружена тесная положительная связь между средне-летними значениями NDVI и ГТК предыдущего года ($R^2 = 0.55$). Средние величины аномалий NDVI, обусловленных засухами, для смешанного леса (с годовым запаздыванием) и лиственного леса были близкими и составили -2.8% , что существенно меньше соответствующих аномалий величины SR.

Итак, наблюдаемые климатические изменения в зоне южной тайги выражаются, прежде всего, в отчетливой тенденции усиления засушливости, которая вызывает сопряженные негативные тренды основных составляющих углеродного цикла. Можно предполагать, что наиболее толерантными в отношении почвенного дыхания к наблюдаемым и ожидаемым климатическим изменениям будут лесные экосистемы, сформированные на суглинистых почвах, а реакция продукционной составляющей на дефицит атмосферных осадков будет определяться типом леса. Учитывая значительно более слабые негативные аномалии продукционной составляющей лесных экосистем по сравнению с эмиссионной, можно предположить, что усиление засушливости климата будет приводить к увеличению стока углерода в лесные биогеоценозы южно-таежной зоны.

Работа выполнялась при поддержке РФФИ (проекты 12-05-00197а и 12-04-00201а), программы Президиума РАН №4 и гранта Научная школа № 6620.2012.4.

Литература:

1. Гулев С.К., Катцов В.М., Соломина О.Н. Глобальное потепление продолжается. Вестник РАН. 2008. т. 78. № 1. С. 20—27.
2. Ларионова А.А., Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О. и др. Эмиссия диоксида углерода из агросерых почв при изменении климата. Почвоведение. 2010. №2. С. 186-195.
3. Оценочный доклад об изменениях климата (техническое резюме). М.: Росгидромет. 2008. 89 с.
4. Ciais P., Reichstein M., Viovy N. et al. Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat et al. Annual and seasonal CO₂ fluxes from Russian southern taiga soils. Tellus B. 2003. V. 55. P. 338—344.
6. et al. The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. Nature. 2004. V. 427. P. 332—336.
7. et al. Interpreting post-drought rewetting effects on soil and ecosystem carbon dynamics in a Mediterranean oak savannah. Soil Biol. Biochem. 2010. V. 42. P. 1800—1810.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЕСТЕСТВЕННЫХ ПОПУЛЯЦИЙ ЕЛИ (*PICEA ABIES* (L.) KARST.) И ЛЕСОПОСАДОК ПО СОСТОЯНИЮ ГЕНОФОНДА И СТЕПЕНИ ПОРАЖЕННОСТИ КОРОЕДОМ (*IPS TYROGRRAPHUS* (L.)) В ПОДМОСКОВЬЕ

Макеева В.М.¹, Смуров А.В.¹, Политов Д.В.², Белоконь М.М.²,
Белоконь Ю.М.², Сулова Е.Г.³, Калинин А.А.⁴

¹Музей землеведения МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва; ²ИОГен РАН, Москва;

³МГУ имени М.В. Ломоносова, Географический факультет, Москва;

⁴Некоммерческая организация природоохранный фонд «Верховье»

vmmakeeva@yandex.ru

Исследовано состояние генофонда (аллельное разнообразие) и степень пораженности короедом четырех популяций ели в двух районах Подмосковья: Раменском (городской округ Звенигород) и Одинцовском (Городское поселение Кратово). В каждом районе обследовано по одной условно коренной эталонной популяции. Обе популяции естественного происхождения, разновозрастные, с подлеском из кустарников и развитым травяным покровом.

В Кратово — обследовались условно-коренные, елово-сосновые субнеморальные леса с участками сосново-еловых и еловых, возрастом 70—120 лет. Доля ели в первом ярусе 40—70%, втором ярусе — 40—70%. Лес в месте сбора естественного происхождения, признаки посадок ели не выявлены. Поражение ели типографом в месте сбора 0%.

В Звенигороде — условно-коренные еловые леса с участием сосны, дуба и липы кустарниковые папоротниково-кислично-широкотравные возрастом 100—170 лет, доля ели в первом ярусе 90%, втором ярусе — не менее 60%. Возраст елей, использованных для сбора образцов — не менее 100 лет, диаметр стволов 60—80 см. Лес в месте сбора естественного происхождения, признаки посадок ели не выявлены. Поражение (процент заселения) короедом-типографом ели в месте сбора 0%. На расстоянии 500—700 м от места сбора расположены еловые и елово-осиново-березовые леса, в которых степень поражения ели достигает 50%.

В Кратово также обследованы трансформированные елово-сосновые лесопосадки возрастом более 90 лет со вторым ярусом из самосеянной ели, сосны, редко осины и березы. Лесопосадки находятся на расстоянии 5 км от эталонной популяции. Доля ели в первом ярусе 90%, втором ярусе (выражен фрагментарно) — 40—80%. В древостое встречаются засохшие поврежденные деревья, на земле — упавшие стволы. Поражение типографом ели во всех ярусах — не менее 90%.

В Звенигороде на расстоянии 760 метров от коренной популяции исследованы короткопроизводные еловые и осиново-березово-еловые кислично-папоротниково-зеленчуковые субнеморальные леса возрастом 70—90 лет с лещиной, жимолостью. Не исключены посадки ели на первоначальной стадии после рубки. Поражение ели типографом в местах сбора не более 15—20%. На южной границе этого места сбора (200 м) находятся загущенные лесопосадки ели возрастом около 50 лет. Поражение типографом лесокультур 100%.

Из каждой популяции обследовано по 37 деревьев по 13 ферментным системам. контролируемыми 24 генетическими локусами. По итогам исследования аллельного разнообразия получены следующие основные результаты:

1. Коренные популяции из двух районов Московской области (Раменского и Одинцовского) не отличаются между собой (при $p = 0.05$) по совокупности частот аллелей

24 изоферментных локусов. Выявленные генетические показатели близки к показателям природных популяций из Центрального региона Восточно-Европейской части лесной зоны. Показатели характеризуют оптимум эволюционно сложившегося генетического разнообразия, как важнейшего условия благополучного существования популяции в нормально колеблющейся природной среде («Концепция оптимума генетического разнообразия» разработана академиком РАН Ю.П. Алтуховым, 1995).

2. В Раменском районе пораженная короедом популяция достоверно отличается ($p = 0.05$) от коренной как по совокупности всех локусов, так и по трем предположительно адаптивным локусам (*Fe-2*, *Idh-1*, *Mdh-3*). Имеются литературные данные о селективности локусов *Idh*, *Mdh* при формировании устойчивости к патогенам, в том числе насекомому *Cryptococcus fagisuga* – паразиту бука (Gora et al., 1994).

3. В Одинцовском районе условно пораженная короедом популяция, достоверно отличается от условно коренной популяции ($p = 0.01$) по двум, предположительно адаптивным локусам (*Gdh*, *Idh-1*).

4. Достоверных различий по степени гетерозиготности между здоровыми и пораженными популяциями не найдено. Однако, в пораженных популяциях значение коэффициента инбридинга значительно выше чем в «здоровых» условно коренных популяциях (для локусов *Idh-1*, *Lap-2*).

5. Всего отличия между популяциями выявлены в 29.1% локусов (7 из 24) и в 13.5% аллелей (8 из 59). Из этого следует, что условно коренные популяции ели более устойчивы к поражению короедом, по сравнению с лесопосадками, благодаря высокому генетическому разнообразию и высокому биологическому разнообразию естественных лесов.

Результаты исследования позволяют сделать следующее заключение: современная стратегия управления лесами должна быть ориентирована, на сохранение «оптимального» генетического разнообразия популяций, характерного для данной природной зоны, наряду с сохранением максимального видового богатства, разновозрастности и других характеристик естественных лесов, определяющих пространственную сопряженность между всеми факторами системной организации природного комплекса.

ВЛИЯНИЕ ЛИТОГЕННОГО ФАКТОРА НА ТРАНСФОРМАЦИЮ СОЕДИНЕНИЙ АЗОТА ЛЕСНЫХ ПОЧВ

Надпорожская М.А., Львова Л.Б., Ковш Н.В., Федорос Е.И., Чертов О.Г.
СПбГУ, Биолого-почвенный факультет, Санкт-Петербург
biooil@bio.pu.ru

Доступный растениям азот почвы является элементом первого минимума в экосистемах бореальных лесов. Скорость его минерализации, связывания в составе гумуса или перевод в газообразные формы в значительной степени определяют продуктивность хвойных лесов. Процессы трансформации соединений азота в почвах еще недостаточно изучены вследствие сложности разнонаправленных процессов трансформации азота — нитрификации и денитрификации, протекающих в почве одновременно из-за гетерогенности условий (Ярков, 1954, Шлегель, 1972; Рыыс, 1979; Орлов, 1985; Кудеяров, 1999; Помазкина, 1999 и др.).

Влияние литогенного фактора на трансформацию соединений азота изучали методами лабораторного моделирования и полевых исследований. В лаборатории

имитировали разложение разнокачественного опада в условиях подстилки (растительный материал без добавок), в условиях новообразования гумусовых веществ (растительный материал в смеси с кварцевым, полиминеральным песками и бескарбонатным суглинком) и в условиях обновления гумуса (растительный материал в смеси с гумусово-аккумулятивным А1). Выявлен эффект интенсивной потери азота при трансформации опада в контакте с безгумусовыми породами. Полиминеральный песок одного гранулометрического состава с кварцевым песком оказывает меньший минерализующий эффект по отношению к соединениям азота. Контакт с бескарбонатным моренным суглинком и кварцевым песком повышает выход водорастворимых форм азота при разложении клевера и хвои ели, повышает долю «фульвокислот». Результаты элементного анализа и ЯМР по водороду препаратов «гумусовых» веществ, выделенных из компостов, показали, что контакт с суглинком и кварцевым песком приводит к уменьшению количества азотсодержащих структурных частей молекул. По нашей гипотезе контакт растительных остатков с минеральными компонентами, не способствующими закреплению новообразованных гумусовых веществ, приводит к преобладанию процессов минерализации над гумификацией. Л.Н. Александрова (1980) определила типы адсорбционных комплексов гумусовых веществ: алюмо- и железогумусовые, кремнегумусовые и глиногумусовые комплексы. Основными механизмами закрепления гумусовых веществ признаны: соосаждение (алюмо- и железогумусовые комплексы) и сорбция (глиногумусовые комплексы) (Chen, 2012). Эффект интенсивной потери азота при разложении опада в контакте с кварцевым песком предположительно обусловлен отсутствием закрепления новообразованных гумусовых веществ (адсорбция минимальна вследствие малой поглотительной способности кварцевого песка, соосаждение минимально из-за дефицита полуторных окислов).

Лесные подстилки формируются в контакте с минеральной частью почвенного профиля, мы предположили, что этот контакт может оказывать влияние на трансформацию соединений азота опада. В лесных почвах «типичным» принято считать последовательное увеличение концентрации азота от слаборазложившейся подстилки (подгоризонт L) к сильноразложившейся. Т.е. подгоризонт H, как более гумифицированный, содержит большее количество азота, стабилизированного в составе гумусовых веществ. Нами собраны собственные и литературные данные с «нетипичным» увеличением отношения C/N от L к H (Владыченский, 1975; Чертов, 1981; Морозова, 1991; Emmer, 1995; Богатырев, 1996; Nierop, 1999; Berg et al., 1999; Bottner et al., 2000; Zeller et al., 2000; Махонина, 2003; и др.). Причем, подстилки такого типа, где азот относительно углерода не накапливается, встречаются под лесами как на легких, так и на тяжелых почвообразующих породах. Нами проведено изучение лесных почв на почвообразующих породах легкого гранулометрического состава (Ленинградская область: Кузнечное, Молодежное, Орехово, Толмачево, Токсово, Доможирово, Шоткуса, Нижнесвирский заповедник). Выбор участков осуществляли по принципам: 1. хвойные леса нормального увлажнения – сосновые и еловые; 2. различие почвообразующих пород по содержанию полуторных оксидов. На ключевых участках в начале вегетационного сезона (конец мая — начало июня) и в конце (начало сентября) были отобраны образцы опада и лесной подстилки (по подгоризонтам L, F, H). Повторность отбора образцов органогенных горизонтов 5—10. Влажность органогенных горизонтов в летнее время колебалась в пределах 50—150 весовых %, осенью — до 25%. Влажность минеральных горизонтов составляла 5—10% летом и до 20% осенью. рН H₂O лесных подстилок 3—5, минеральных

горизонтов 4—5. В песках содержание фракции физического песка 90—95%. Опад изученных лесов беден азотом, C/N от 60 до 110.

Было выяснено, что сезонные изменения не оказывают влияния на общую закономерность распределения валовых углерода и азота по подгоризонтам лесных подстилок. В подстилках подбуров (пос. Кузнечное, Нижнесвирский заповедник), образованных на богатых железом и алюминием (Fe_2O_3 10—14%, Al_2O_3 8—16%) породах C/N вниз по лесной подстилке уменьшается от 40 до 30—20. В подзолах на песках, в которых преобладает SiO_2 , Толмачево, C/N от L к H по результатам трех пробоотборов не увеличивается или увеличивается незначительно. Можно отметить, что поступающий бедный азотом опад формирует лесные подстилки значительно богаче азотом, но, как мы предполагаем, динамика трансформационных изменений внутри лесных подстилок зависит от литогенного фактора. Сделано предположение о существовании двух типов динамики азота в континууме трансформируемого в почвах хвойных лесов опада: аккумулятивного (подбуры) и минерализационного (подзолы на кварцевых песках). Так же мы предположили, что в ненарушенных лесных системах минерализационные потери азота компенсирует влияние биологического фактора.

Более детально изучен биохимический состав органического вещества наиболее контрастных по изучаемым признакам почв подбура (Кузнечное) и подзола (Толмачево). Растительность этих участков представлена сосновыми лесами близкого возраста, около 120 лет с мохово-лишайниковым напочвенным покровом. Травяно-кустарничковый ярус развит сильнее и богаче по видовому составу на подбуре.

Анализ группового-фракционного состава лесных подстилок подбура показал преобладание фульвокислот ($C_{\text{ГК}}/C_{\text{ФК}}$ 0.6—0.9) и азот гумуса был ассоциирован преимущественно с фульвокислотами ($N_{\text{ГК}}/N_{\text{ФК}}$ 0.6—0.9). В органогенных горизонтах подзола было обнаружено большее относительное содержание гуминовых кислот ($C_{\text{ГК}}/C_{\text{ФК}}$ 1.0—2.0) и азот гумуса был связан с гуминовыми кислотами ($N_{\text{ГК}}/N_{\text{ФК}}$ 2.2—3.0). Для двух ключевых площадок под сосновыми лесами на подзоле и подбуре выявлено, что различия касаются не только валовых содержаний азота и углерода, но и отражаются на элементном составе и структуре прогумусовых и гумусовых веществ, препаративно выделенных из подгоризонтов лесных подстилок по методу IHSS (щелочной гидролиз NaOH, осаждение HCl). Результаты изучения структуры гуминовых кислот методом ^1H ЯМР-спектроскопии: содержание групп полисахаридов, спиртов, эфиров и аминных групп в ГК подгоризонта H лесных подстилок было 61 и 27% для подбуров и подзолов, соответственно.

Различная динамика азота может отражать различие экологических функций лесных почв и в значительной степени модифицировать их продуктивность. С экологической точки зрения эффект интенсивной минерализации азота при адекватном потреблении биотой способствует интенсификации биологического круговорота, если биота не успевает усвоить освобождающийся азот, это может приводить к усилению дефицита азота в почве.

Работа частично финансирована РФФИ 10-04-00481-а и НИР СПбГУ 1.0.142.2010.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОЙ СТРАТИФИКАЦИИ БИОМАССЫ КОРНЕЙ В СМЕШАННЫХ ДРЕВОСТОЯХ

Рочева Л.К.¹, Шанин В.Н.², Шашков М.П.², Иванова Н.В.³, Москаленко С.В.²
¹ПушГЕНИ, Пущино, ²ИФХиБПП РАН, Пущино, ³ИМПБ РАН, Пущино
LiliyaRocheva@gmail.com

Цель данной работы — определение вертикального распределения биомассы живых и отмерших тонких корней древесных растений в смешанных и одновидовых древостоях с целью определения особенностей их вертикальной стратификации, что будет использовано для параметризации модели корневой конкуренции (Shanin et al 2013). Нами была выдвинута гипотеза, что общая биомасса корней в смешанных древостоях выше, чем в одновидовых, за счет более эффективного «разделения ниш» (Sterba et al. 2002; Cavard et al. 2011). Еще одной задачей исследования являлось выявление возможных зависимостей соотношения между биомассой и мортмассой от глубины и видового состава древостоя (Helmisaari et al. 2007; Brunner et al. 2013). Для этого на двух пробных площадях были отобраны образцы тонких корней. Кроме того, на каждой пробной площади было проведено описание древостоя и напочвенного покрова; а также описаны почвенные разрезы.

Пробная площадь №1 расположена в пригороде г. Пущино Московской области и заложена в лесных культурах ели возрастом 45 лет. Формула древостоя: 3Е2Б2С2Кл1Лп+Ивк. Территория водораздельная. В травяном ярусе преобладают *Asarum europaeum* L. и *Pulmonaria obscura* Dumort. Подлесок не выражен, в подросте представлены *Acer platanoides* L. и *Tilia cordata* Mill. Почва серая лесная. Пробная площадь №2 расположена на территории ГПЗ «Кологривский лес» (Костромская обл.). Исследования проводились в смешанном лесу со вторым ярусом ели, расположенном в нижней части водораздельного склона к р. Сеха. Формула I яруса: 4Ос4Б1С1Е, формула II яруса: 10Е. Возраст древостоя — 60 лет. Подлесок составлен *Sorbus aucuparia* L., в подросте представлены в основном *Picea abies* (L.) Н.Karst. и *Populus tremula* L. В травяном ярусе преобладают *Vaccinium myrtillus* L. и *Oxalis acetosella* L. Почва подзол. Отбор образцов осуществлялся в одно- и многовидовых локусах в пределах каждой пробной площади. Закладывались трансекты, соединяющие 6 пар деревьев, включающие особи как одного вида, так и разных видов (береза повислая *Betula pendula* Roth, сосна обыкновенная *Pinus sylvestris* L. и ель европейская *Picea abies* (L.) Н.Karst.). На каждой трансекте закладывались 3 почвенных колонки (две — на расстоянии 2 м от стволов каждого из деревьев и третья — посередине). Отбор образцов из колонок осуществлялся до глубины, в которой сосредоточена большая часть массы корней (50 см. для пробной площади №1 и 30 см. для пробной площади №2).

Отбор образцов производился с помощью круглого бура внутренним диаметром 7.0 см. Таким образом, из каждого 10-см слоя были получены почвенные монолиты объемом 384.65 см³. Монолиты помещались в пакеты и сохранялись в холодильнике (Fahey and Hughes 1994) при температуре -4°C все время, пока шел их разбор (не более 1 месяца). При разборе почва из монолитов последовательно просеивалась через сита с размером ячейки 1 и 0.4 мм; из почвы, оставшейся на сите, вручную выбирались корни (Kalliokoski et al. 2010). Далее оставшиеся почвенные комки растирались в фарфоровой ступке, и процедура просеивания повторялась. Из просеянной почвы также вручную выбирались все корни. Далее отбирались тонкие корни (с диаметром у наиболее толстой части не более 2 мм), которые разделялись на живые и отмершие по морфологическим признакам (цвет, состояние коры, тургор) (Vogt and Persson

1991). Корни отмывались от почвы при помощи промывалки, помещались в пенициллиновые пузырьки и просушивались до воздушно сухого состояния в сушильном шкафу при температуре +70°C (Helmisaari et al., 2009), и далее взвешивались на аналитических весах. Постоянная масса образца считалась достигнутой, если при трех последовательных взвешиваниях разница между измерениями не превышала погрешности измерения. Масса образцов рассчитывалась как среднее из двух наиболее близких измерений и пересчитывалась на 1 м³ почвы. На пробной площади №2 разбор образцов проводился в полевых условиях, просушка и взвешивание — согласно приведенной выше методике.

Показано, что средняя воздушно сухая масса тонких корней в образцах из двувидовых трансект (870.95 ± 216.84 г/м³) выше, чем в образцах из одновидовых трансект (565.96 ± 114.94 г/м³). Среди одновидовых трансект, наибольшая масса корней наблюдалась в парах «береза-береза» и «ель-ель», в смешанных трансектах различия между парами были незначительными. Также показано, что на трансектах с участием ели значительная масса корней (более 50%) тяготеет к верхним горизонтам почвы (подстилка и верхние 10 см минеральной почвы), что особенно выражено в случае с парой «ель-ель», в то время как в остальных случаях вертикальное распределение массы корней по профилю почвы было более равномерным. Также с глубиной растет доля мортмассы тонких корней.

Благодарим д.б.н. А.С.Комарова (ИФХиБПП РАН), к.б.н. В.Э.Смирнова (ИМПБ РАН) и д.б.н. К.С.Бобкову (ИБ КНЦ УрО РАН), Dr. R.Sievänen, Dr. T.Kallioikoski и Dr. R.Mäkipää (Finnish Forest Research Institute) за консультации, которые позволили улучшить методику сбора образцов и обработки данных. За предоставленную возможность и помощь в сборе образцов благодарим Государственный природный заповедник «Кологривский лес» и лично А.Ю. и Е.В.Терентьевых. Также мы хотели бы поблагодарить за предоставленное оборудование лабораторию физико-химии почв ИФХиБПП РАН и лично А.Д.Темралееву и лабораторию археологического почвоведения ИФХиБПП РАН и лично к.б.н. А.В.Борисова. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 12-04-31635).

Литература

1. Brunner I, Bakker MR, Björk RG, Hirano Y, Lukac M, Aranda X, Børja I, Eldhuset TD, Helmisaari H-S, Jourdan C, Konõpka B, López BC, Pérez CM, Persson H, Ostonen I (2013) Fine-root turnover rates of European forests revisited: an analysis of data from sequential coring and ingrowth cores // *Plant Soil* 362:357-372.
2. Cavard X, Bergeron Y, Chen HYH, Paré D, Laganière J, Brassard B. (2011) Competition and facilitation between tree species change with stand development. *Oikos* 120:1683-1695. Fahey TJ, Hughes JW (1994) Fine root dynamics in a northern hardwood forest ecosystem, Hubbard Brook Experimental Forest, NH. *J Ecol* 82(3):533-548.
3. Helmisaari H-S, Derome J, Nöjd P, Kukkola M (2007) Fine root biomass in relation to site and stand characteristics in Norway spruce and Scots pine stands. *Tree Phys* 27:1493-1504.
4. Helmisaari H-S, Sah S, Aro L. (2009) Fine roots on intensive forest ecosystem monitoring plots FIP4, FIP10 and FIP11 on Oulujoki island in 2008. Finnish Forest Research Institute, Working Report 2009-127, 2009, 33 pp.
5. Kallioikoski T, Pennanen T, Nygren P, Sievänen R, Helmisaari H-S (2010) Belowground interspecific competition in mixed boreal forests: fine root and ectomycorrhiza characteristics along stand developmental stage and soil fertility gradients. *Plant Soil* 330:73-89.
6. Shanin VN, Shashkov MP, Ivanova NV, Moskalenko SM, Bezrukova MG, Mäkipää R, Bobkova KS, Manov AV, Komarov AS (2013) The model of root spreading and belowground competition in boreal mixed forests. In: Sievänen R, Nikinmaa E, Godin C, Lintunen A, Nygren P (eds) *Proceedings of the 7th International Conference on Functional-Structural Plant Models*, Saariselkä, Finland, 9-14 June 2013, p. 331.
7. Sterba H, Blab A, Katzensteiner K (2002) Adapting an individual tree growth model for Norway spruce (*Picea abies* L. Karst.) in pure and mixed species stands. *For Ecol Manage* 159:101-110. Vogt KA, Persson H (1991) Measuring growth and development of roots. In: Lassole JP, Hinckley TM (eds) *Techniques and Approaches in Forest Tree Ecophysiology*. CRC Press, pp. 477–501.

ПОСТУПЛЕНИЕ УГЛЕРОДА В ПОЧВУ С ОПАДОМ

Сапронов Д.В.
ИФХуБПП РАН, Пущино
disa20@aport.ru

С целью уточнения оценки углеродного баланса лесных экосистем была изучена динамика и оценено количество лесного опада поступающего на поверхность почвы. Исследования проводили в Московской области в окрестностях г. Пущино (E54°20', E37°37') и на территории Приокско-Террасного государственного природного биосферного заповедника (N 54°50' E 37°35').

Район исследований относится к самой южной части южно-таежной зоны. Среднегодовая температура воздуха в районе исследований составляет 5.5°C, а среднегодовая сумма осадков 670 мм. Экспериментальные площадки расположены в лиственном лесу на серой лесной почве и в смешанном лесу на дерново-подзолистой почве. Основными лесобразующими породами лиственного леса являются *Populus tremula* (L.), *Tilia cordata* (Mill.) и *Betula pendula* (Roth.), средний возраст деревьев около 60 лет. Основными лесобразующими породами смешанного леса являются *Pinus sylvestris* (L.), *Picea abies* (L.), *Quercus robur* (L.) и *Populus tremula* (L.) возраст деревьев 50—100 лет.

Отбор опада проводили ежемесячно, в 4-х кратной повторности, с октября 2009 года и по настоящее время с помощью подвесных ловушек. Опад разбирали на фракции (листва, хвоя, древесные части, почки, крылатки, цветоносы и неопределяемые остатки). 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 кладётся 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. Такая конструкция позволяет избежать выдувание опада из ловушки и его гниение.

Лиственный лес характеризовался большей величиной опада, но различия не всегда достоверны. 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 и на поверхности почвы формируется подстилка массой 270—370 г С/м². Поступление углерода с опадом в лесном ценозе в течение года имеет два максимума не зависимо от типа леса. Наибольшее количество поступает в сентябре-октябре и связано с опадом листвы. В это время на почву поступает до 350 г опада на кв. метр (160 г С/м²). Второй максимум приходится на начало вегетации растений и связан с опадом цветоносов и почечных чешуй. Количественно он значительно меньше осеннего — до 150 г опада (56 г С/м²).

Основную массу опада в обоих ценозах составляет листва 46—70% от общего годового опада. Далее идут древесные части — 20%, хвоя около 20% и почки составляя 2—7%. 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. В течение всего года на почву поступает в лиственном лесу порядка 241±20 г С/м², а в смешанном лесу 215±56 г С/м². На долю подземного опада по литературным данным 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.

ГОДОВАЯ ДИНАМИКА МИНЕРАЛЬНОГО АЗОТА В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЕ (МОСКОВСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Семиколенных А.А.

МГУ имени М.В.Ломоносова, Факультет почвоведения, Москва; ЦЭПЛ РАН, Москва
aasemik@list.ru

В 2011—2012 году был поставлен годовой опыт для определения динамики соединений минерального азота в почве. Изучались дерново-подзолистые лесные почвы в Сосенском сельском округе Московской области (территория Ульяновского лесопарка).

Было выбрано три площадки в различных лесных парцеллах: подкروновое пространство ели, подкروновое пространство березы, межкроновый участок с разнотравно-злаковой растительностью. Аналитические пробы для определения нитратного и аммонийного азота отбирались буром ежемесячно (в апреле, мае, сентябре и октябре — 2 раза в месяц). Одновременно отбиралась проба для определения весовой влажности, проводилось измерение эмиссии углекислоты с поверхности почвы. На поверхности и на глубине 10 см устанавливался датчик автоматической регистрации температуры.

Полученные результаты позволили сделать следующие выводы:

1. В целом содержание минеральных форм азота в лесных почвах относительно не велико. Диапазон значений для нитратов: минимум — 0,3, максимум — 18,8 мг $\text{NO}_3/100$ г.; для аммонийной формы минимум — 0,1, максимум 12,2 $\text{NH}_4/100$ г.

2. Содержание минеральных соединений азота имеет выраженную годовую динамику. Максимальное содержание азота (нитратная форма) наблюдалось в весенний период. Причем происходило нарастание содержания нитратов с конца марта к первой декаде мая. По мере развития травянистой растительности содержание азота уменьшалось, достигая минимума в июле. Начиная с августа и до сентября происходило второе увеличение содержания азота в почве (однако, менее значительно чем весной). Осенний максимум азота характеризовался большей долей аммонийного азота.

3. В предзимний период наблюдалось снижение содержания форм азота (возможно, по причине совпадения снижения микробиологической активности и выноса азота вглубь профиля из-за обильных осадков). С конца ноября показатели стабилизировались. Зимние месяцы характеризовались стабильно низкими показателями. Однако, эмиссия углекислоты из почвы прекратилась (снизилась до крайне низких значений) значительно позже. Следовая эмиссия наблюдал

4. Сопоставление различных парцелл между собой показало, что абсолютными максимальными значениями минерального азота характеризуется подкroновое пространство ели. Особенно, заметен пик аммонийного азота в подстилочных горизонтах. Видимо, это связано как с накоплением и медленной минерализацией хвойного опада, так и с тем, что крона ели частично задерживает атмосферные осадки. В межкroновом пространстве наиболее выражен «летний минимум» азота. По-видимому, азот практически полностью «использован» травянистой растительностью.

5. С точки зрения мобилизации минерального азота из лесных подстилок наиболее важным является ранне-весенний период, который начинается еще под снегом и продолжается до массового развития трав. В этот период азот практически не вымывается вниз по профилю (снег частично испаряется, а также вертикальный дренаж ограничен промерзанием почвы).

Полностью работа готовится к публикации в журнале «Лесоведение».

ПОСЛЕПОЖАРНОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ РАСТИТЕЛЬНОГО И ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ШИРОКОЛИСТВЕННО-КЕДРОВОГО ЛЕСА (ЮЖНЫЙ СИХОТЭ-АЛИНЬ)

Сибирина Л.А.
БПИ ДВО РАН, Владивосток
Sibirina@ibss.dvo.ru

Хвойно-широколиственные леса Дальнего Востока периодически испытывают воздействие огня. Влияние лесных пожаров на лесную растительность и почвенный покров кедрово-широколиственных лесов, а также естественный ход их восстановления изучали на территории Верхнеуссурийского стационара, который находится в центральной части Приморского края в северо-западной части Южного Сихотэ-Алиня. Рельеф среднегорный абсолютные высоты от 450 м (у устья р. Правая Соколовка) до 1160 м — на водоразделе; преобладающие высоты от 600 до 850 м над уровнем моря.

Восстановление растительного и почвенного покрова в ходе послепожарной сукцессии наблюдали в одном из наиболее распространенном в Южном Сихотэ-Алине типе леса — широколиственно-кедровом лианово-разнокустарниковом (пробная площадь (пр. пл.) 6—1975). Устойчивый низовой пожар, местами переходящий в верховой, произошел на участке в августе 1973 г. и почти полностью уничтожил подстилку, травяной покров, подлесок и подрост. В древостое сохранились лишь отдельные деревья дуба монгольского, липы Таке и сосны корейской кедровой. На наиболее сильно прогоревших участках был трансформирован и гумусовый горизонт. Минеральная часть почвы изменилась незначительно.

Флористическое разнообразие рассматриваемого типа леса варьирует от 72 до 88 видов высших сосудистых растений. Из них к древесным относятся 19—23 вида, к кустарникам и деревянистым лианам — 18—21, к травянистым растениям и кустарничкам — 62—67 видов.

На первой стадии восстановительной сукцессии (от 3 до 5 лет после пожара) доминируют травянистые (*Chelidonium asiaticum*, *Epilobium davuricum*, *Artemisia rubripes*, *Lamium barbatum*, *Chamerium angustifolium*, *Urtica angustifolia*) и кустарниковые (бузина кистистая, аралия высокая, малина Комарова) виды, имеющие простые и короткие жизненные циклы. Из древесных видов послепожарные участки быстро осваивают породы-пионеры (березы плосколистная и ребристая, осина, тополь корейский, ивы козья, Шверина и поронайская) благодаря массовому распространению с помощью ветра и быстрому прорастанию их мелких и легких семян. В качестве примеси присутствует черемуха Маака и коренные породы — лесообразователи (сосна корейская, ель аянская, пихта почкочешуйная, липа Таке, дуб монгольский, клен мелколистный).

На второй стадии основными доминантами, определяющими структуру сообществ, являются древесные породы-пионеры (осина, березы ребристая и плосколистная), преобладающие в составе древостоев от 7 до 80—100 лет. По числу растений на нашем участке преобладала береза ребристая. На пятый год после пожара высота большинства лиственных древесных растений не превышала 70 см, но были растения, которые достигали высоты 250 см.

В первые 8 лет средний годичный прирост по высоте изменялся у пород-пионеров в пределах 40—95 см, у климаксовых широколиственных пород (липа Таке, клен мелколистный, дуб монгольский) — 4—13.5 см, а у хвойных лесообразователей (сосна корейская, ель аянская и пихта почкочешуйная) — 1.4—3.5 см.

Через 10 лет в сформировавшемся молодняке у растений разных видов начались более заметные расхождения по скорости роста. У березы плосколистной и осины заметно ускорился рост в высоту, а у березы ребристой, ивы и черемухи Маака значительно снизился. В результате дифференциации растений по высоте в структуре формирующегося древостоя выделились два полога. Первый полог, сомкнутостью 0.3 и высотой 6—8 м, составляли растения березы плосколистной, осины, черемухи Маака и ивы поронайской. Второй полог, с сомкнутостью крон 0.4 и высотой 3—4 м, образовали главным образом береза ребристая и ива козья. Все представители коренных лесообразователей еще не превышали 150 см высоты и составляли преимущественно мелкий и средний подрост.

В состав древесного яруса представители хвойных пород начали входить только через 25—30 лет после пожара. К этому времени стал формироваться трехъярусный древостой. Так, на 32-й год после пожара на анализируемой пр. пл. 6—1975 в составе первого полога древостоя, сомкнутостью 0.7—0.8 и высотой 20—22 м, около 80% по запасу древесины принадлежало березе плосколистной и 20% — осине. Второй полог высотой 13—15 м сформировали отставшие в росте экземпляры березы плосколистной, а также береза ребристая и ива козья усиленного роста. Третий полог высотой 6—8 м, образовали широколиственные породы (клен мелколистный, липа Таке, дуб монгольский, ясень маньчжурский) и отставшие в росте березы. Наиболее крупные особи ели и пихты не превышали 2.5 м высоты, а сосны — 3 м.

Динамика численности послепожарного поколения древесных пород прослежена в течение первых 30 лет после пожара. Как показали результаты исследований, наиболее интенсивное самоизреживание происходило в первые 7—10 лет развития популяций, особенно в густых био группах. На 30-й год после пожара сохранили жизнедеятельность: береза плосколистная — 22,4%, осина — 12,2%, ива поронайская — 2,9% и по 2,6% береза ребристая и ива козья. В отличие от активного процесса самоизреживания у молодых пород-пионеров, у представителей коренных пород происходило постепенное накопление количества стволов. На 30-й год после пожара возросла численность липы — на 64,7%, ели — на 66,8%, пихты — на 70,4%, сосны корейской — на 78,4%, клена на 89,7% по сравнению с их количеством на 2-летней гари.

По данным Г.А. Гладковой и Г.Н. Бутовец (2008) через 30 лет после пожара на участке сформировался бурозем слабоподзоленный насыщенный среднесуглинистый сильнокаменистый на элюво-делювии склоновых отложений. Почва по мощности гумусового горизонта — мелкая, по содержанию гумуса — тучная. Подстилка восстановилась до предпожарного состояния по строению подгоризонтов (O1O2O3) через 7 лет, но качественно отличалась от него вследствие дернового процесса.

Через 30 лет участки с разной степенью прогорания различаются по содержанию гумуса и обменных катионов. Почва, испытывавшая более сильное воздействие огня, характеризуется меньшими запасами углерода, обменных оснований и влаги, а подвижного фосфора — большими.

Литература

1. Характеристика почвенного покрова широколиственно-кедрового леса спустя 30 лет после пожара // Пожары в лесных экосистемах Сибири. - Красноярск. 2008. С. 107—109.

СПЕЦИФИКА ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ В РИЗОСФЕРЕ ЕЛИ

Соколова Т.А., Толпешта И.И., Чалова Т.С.
МГУ имени М.В.Ломоносова, Факультет почвоведения, Москва
sokolt651@mail.ru

В последние десятилетия изучение специфики почвенных свойств в ризосфере стало очень быстро и динамично развивающейся областью знаний, и по этой проблеме появился значительный объем информации. Концентрация микроорганизмов в сочетании с прямым влиянием корневых систем растений на почву приводит к существенным различиям в свойствах между почвой в ризосфере и вне ризосферы. Эти различия становятся особенно контрастными, если на корневых системах растений обитают эктомикоризные грибы, в таком случае ризосферу определяют как эктомикоризосфера (ЭМКР).

Сравнение свойств подзола под насаждением ели обыкновенной (*Picea abies*) в образцах, отобранных в ризосфере и вне ризосферы (Gobran et al., 1998), показало, что почва в ризосфере характеризуется более высоким содержанием С_{орг} и более высокой ЕКО. Drewer (Drewer, 1994) отмечает, что концентрация НМОК в растворе из почвы ризосферы может на порядки превышать их концентрацию в растворе, получаемом из почвы вне ризосферы. В растворе из ЭМКР *Gautieria monticola* и *Hysterangium setchellii*. По сравнению с почвой вне скоплений грибов наблюдалась существенно более высокая концентрация С_{орг} оксалат-, фосфат- и сульфат-ионов, а также Н, Al, Fe, Cu, Mn и Zn, причем в отношении С_{орг} и оксалатов разница составляла несколько порядков (Griffits, 1994).

Объекты и методы исследования. Исследования проводили на территории Центрального лесного природного биосферного заповедника (Нелидовский район, Тверская обл.). Объектами исследования были образцы горизонта АЕЛ подзолистой почвы, отобранные из ризосферы ели (*Picea abies*) примерно 50-летнего возраста и из внеризосферного пространства в июле 2009 (в однократной повторности), в июле 2010 года (в пятикратной повторности) и в июле 2012 года (в пятикратной повторности). Эти годы сильно различались по погодным условиям: лето 2010 года было сухим и жарким, а летние периоды 2009 и 2012 годов — умеренно-влажными и более прохладными. Изученные почвы развиты на двучленных отложениях (легкий покровный суглинок, подстилаемый на глубине 40—50 см тяжелосуглинистой мореной) под смешанным лесом (ель, осина, береза, клен) с преобладанием кислицы, зеленых мхов и неморального разнотравья в напочвенном покрове.

Образцы почвы из ризосферы и внеризосферного пространства отбирали следующим образом. Сначала из горизонта АЕ отбирали общий образец, и из него извлекали корни с прилипшей на ней почвой. После встряхивания на корнях оставались «бусы» из почвенного материала, этот материал рассматривали как почву ризосферы. Остальная часть образца рассматривалась как почва внеризосферного пространства. В образцах определяли органический углерод по методу Тюрина в модификации Никитина. Определение обменных Mg²⁺ и Ca²⁺ в 1М NH₄Cl вытяжке проводили методом комплексонометрии, определение обменных K⁺ и Na⁺ в той же вытяжке — методом пламенной фотометрии; значения рН водной и солевой суспензий определяли методом потенциометрии. Несиликатные соединения Fe и Al определяли в вытяжке Тамма (Воробьева, 1998).

Результаты и обсуждение. В горизонте АЕ подзолистой почвы в оба года отбора образцов значения рН водной суспензии в ризосфере ели были ниже, чем во внеризосферном

пространстве, что можно объяснить активной деятельностью в ризосфере древесных корней и почвенной микробиоты, включая эктомикоризные грибы, — продуцентов низкомолекулярных органических кислот. В более влажных 2009 и 2012 годах значения pH были существенно ниже, чем в сухом и жарком 2010 году. Эта закономерность связана с тем, что при достаточном увлажнении почвы возрастает активность почвенной микробиоты — основного источника органических кислот, и интенсифицируется вынос наиболее подвижных соединений Ca, Mg и K, нейтрализующих кислоты. Во все годы наблюдений материал ризосферы в горизонте АЕ содержал больше органического вещества по сравнению с почвой внеризосферного пространства, за счет поступления в прикорневую зону отмирающих корневых остатков и повышенной концентрации микроорганизмов в ризосфере. В соответствии с содержанием $C_{\text{орг}}$ в оба года наблюдений в ризосфере содержалось больше обменных оснований по сравнению с почвой внеризосферного пространства. Выявленные различия в отношении одних катионов подтверждаются статистически, а в отношении других — выявляются только на уровне тенденций из-за значительного пространственного варьирования. В ризосфере наблюдаются также более высокие значения обменной кислотности. В том же горизонте установлено достоверное превышение содержания обменных оснований в почве ризосферы по сравнению с почвой внеризосферного пространства в образцах, отобранных в 2010 году.

В горизонте АЕ исследованной почвы выявлена тенденция к увеличению содержания оксалатно-растворимых соединений Fe и Al в почве ризосферы по сравнению с внеризосферным пространством, что можно объяснить интенсификацией процессов выветривания минералов в ризосфере под влиянием корневых выделений и деятельности микробиоты.

В горизонте АЕ выявлено достоверное превышение буферности к основанию в почве ризосферы по сравнению с почвой внеризосферного пространства за счет более высокого содержания органического вещества. Буферность к кислоте также выше в ризосфере, чем во внеризосферном пространстве, но за счет большого пространственного варьирования эти различия выявляются только как тенденции. Повышенные значения кислотности-основности почвы ризосферы по сравнению с почвой внеризосферного пространства можно рассматривать как один из важных факторов, обеспечивающих устойчивое функционирование почвенной биоты в условиях стрессов.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 11-04-00061а

Литература

1. Drever J.I. (1994) The Effect of Land Plants on Weathering Rates of Silicate Minerals // *Geochim. Cosmochim. Acta* 58 (10), pp.2325–2332
 2. Gobran G.R., Clegg S., Courchesne F. (1998) Rhizosphere Processes Influencing the Biogeochemistry of Forest Ecosystems // *Biogeochemistry* 42, pp.107–120.
- Griffiths R.P., Baham J.E., Caldwell B.A. (1994) Soil Solution Chemistry of Ectomycorrhizal Mats in Forest Soil // *Soil Biol. Biochem.* 26 (3), pp.331–337.

ОСОБЕННОСТИ МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО СОСТАВА ИЛИСТОЙ ФРАКЦИИ В РИЗОСФЕРЕ ЕЛИ

Толпешта И.И., Соколова Т.А.

МГУ имени М.В.Ломоносова, Факультет почвоведения, Москва
sokolt65@mail.ru

В работах многих исследователей было показано, что почва в ризосферном пространстве отличается от почвы вне ризосферы по ряду химических, биологических, биохимических и физических показателей. Под действием корневых выделений, прежде всего протона и анионов комплексообразователей, в ризосфере наиболее активно происходят процессы трансформации слоистых алюмосиликатов. Кроме того, наиболее интенсивное потребление К из слюд растениями происходит при непосредственном контакте корня и минерала. В работах разных авторов (Leyval, Berthelin, 1991; Hinsinger et al., 1993; Paris et al., 1996; Arocena et al., 1999; Gobran et al., 2005 и др.) показано, что в ризосфере интенсивно происходит образование вермикулита из флогопита, ускоряется трансформация вермикулита и других минералов. Таким образом, в результате деятельности корней минералогический состав почвы в ризосфере может отличаться от такового в почве вне ризосферного пространства.

Цель настоящей работы — сравнить минералогический состав илистой фракции в почве ризосферы и во вне ризосферного пространства ели (*P. abies*).

Благодаря поверхностной корневой системе, основная масса корней ели сосредоточена в элювиальных горизонтах АЕЛ. Поэтому, объектами исследования были горизонты АЕЛ подзолистой почвы. Работы проводились на территории Центрально-Лесного заповедника (Нелидовский район, Тверская область).

При изучении минералогического состава почвы ризосферы возникают трудности методического характера, основная из которых заключается в тщательности отбора значительного количества образца, необходимого для проведения минералогических исследований. Поэтому, в данной работе использованы разные приемы отбора и усреднения образцов и результатов анализа (индивидуальные образцы, смешанный образец). Вторая методическая сложность состоит в том, что некоторые трансформационные изменения в глинистых минералах, происходящие в ризосферном пространстве не всегда можно обнаружить, пользуясь традиционными в почвоведении методами и приемами. Поэтому в данной работе сделана попытка количественной оценки содержания глинистых минералов и расшифровки смешанослойных структур с помощью моделирования рентгеновских спектров. Для работы использовали илистые фракции в Mg-форме без удаления органического вещества и илистые фракции, обработанные 10% H₂O₂, насыщенные в Са. Для идентификации разбухающей фазы использовали глицерин и этиленгликоль.

Результаты исследований. Илистые фракции почв, как в пределах ризосферы ели, так и в неризосферном пространстве состоят из каолинита, хлорита (в сумме 60—63 %), лабильных минералов (9—14%), иллита (23—30%), смешанослойных R1 иллит-сметитов и иллит-вермикулитов. Расчеты количественного содержания проведены по модифицированной методике Корнблума по результатам измерения интенсивности рефлексов от минералов в Mg-форме без предварительного удаления органического вещества.

При обработке илистых фракций 10% H₂O₂ в исследованных образцах содержание лабильной фракции, при расчетах по модифицированной методике Корнблума,

возрастает, по сравнению с образцами без удаления органического вещества. Рентген-дифрактограммы илистых фракций смешанных образцов почвы ризосферы и смешанных образцов, отобранных из внеризосферного пространства как в исходном виде, так и при насыщении этиленгликолем и прокаливании при 350 °С, практически не отличаются друг от друга, что объясняется значительным варьированием минералогического состава исследуемого почвенного горизонта даже в пределах небольшого участка (около 8 м²).

На рентгенограммах индивидуальных образцов, обработанных перекисью водорода и насыщенным Са, наблюдаются отчетливые различия, которые, прежде всего, заключаются в увеличении содержания разбухающей фазы в почве ризосферного пространства и к увеличению межплоскостного расстояния у некоторых минералов до 1.65 нм, по сравнению с почвой вне ризосферы.

В образцах, обработанных перекисью водорода, отмечена тенденция к снижению содержания почвенных хлоритов в илистой фракции почвы из ризосферы, что вероятно связано с частичным растворением добавочного октаэдрического слоя в условиях более кислой среды ризосферы, по сравнению с неризосферным пространством.

Заключение. Минералогический состав илистой фракции почвы в ризосфере ели отличается от такового вне ризосферного пространства. Увеличение содержания наиболее низкозарядных лабильных компонентов ила в ризосфере возможно за счет трансформационных изменений жестких структур и вермикулитов, которое сопровождается понижением заряда и образованием смектитовых пакетов в условиях более кислой среды в ризосфере, по сравнению с неризосферным пространством. По этой же причине в ризосфере ели происходит частичное растворение добавочного октаэдрического слоя почвенных хлоритов.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 11-04-00061а

Литература

1. Arocena J.M., Glowa K.K.R., Mussicotte, Lavkulich (1999) Chemical and mineral composition of ectomycorrhizosphere soils of subalpine fir (*Abies lasiocarpa* (Hook) Nutt.) in the Ae horizon of a luvisol // Canadian J. Soil Sci. V.79. P. 25 – 35.
2. Gobran G.R., Tupault M.-P., Courchesne F. (2005) Contribution of rhizospheric processes to mineral weathering in forest soils. Biogeochemistry of trace elements in rhizosphere. P. 2-28.
3. Hinsinger P, Elsass F, Jaillard B, Robert M (1993) Rootinduced irreversible transformation of a trioctahedral mica in the rhizosphere of rape // Eur. J. Soil Sci. 44. P. 535–545
4. Leyval C., Berthelin J. (1991) Weathering of mica by roots and rhizospheric microorganisms of pine // Soil Sci. Soc. Am.J. V. 55. P. 1009-1016.
5. Paris F., Botton B. and Lapeyrie F. (1996) In vitro weathering of phlogopite by ectomycorrhizal fungi. II. Effect of K⁺ and Mg²⁺ deficiency and N sources on accumulation of oxalate and H⁺ // Plant Soil. 179. P. 141–150.

**СПЕЦИФИКА ЛЕСНЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ И АВТОМОРФНЫХ ПОЧВ
В СВЯЗИ С ОСОБЕННОСТЯМИ ГЕОЛОГИИ И РЕЛЬЕФА
УРОЧИЩА БАРСОВА ГОРА (СРЕДНЕЕ ПРИОБЬЕ)**

Тюрин В.Н.¹, Сорокина Е.П.²

¹ООО «Гиперборея», Москва; ² ФГУНПП «Аэрогеология», Москва
tyurin_vn@mail.ru

Общеизвестно широкое распространение в таежной зоне подзолообразовательного и глеевого процессов. Однако в последнее время появились сведения о присутствии в средней тайге нетипичных почв — без признаков оглеения и оподзоливания. Они, в частности, обнаружены в южной части подзоны — в междуречье Салыма и Иртыша (Аветов, Трофимов, 2000) и названы авторами таежными бурыми почвами.

Проводимые нами исследования близ Сургута позволили выявить близкие по свойствам почвы в урочище Барсова Гора. Характерным для них является наличие гумусового горизонта и отсутствие явных признаков оподзоливания и оглеения. Эти почвы выявлены нами под мелколиственными травяными лесами с обилием видов крупнотравья (Тюрин, Кукуричкин, 2006). В отличие от указанных выше таежных бурых почв неоподзоленные дренируемые почвы у Сургута приурочены к более легким супесчаным и легкосуглинистым отложениям. Подобные участки на Барсовой Горе занимают немногим более 20 га (лишь 2% площади урочища) и территориально соответствуют выходу на поверхность моренных отложений, в которых присутствуют отторженцы песчано-галечных пород палеогена (Левина и др., 2011).

Для оценки уникальных особенностей почвенно-растительного покрова в 2007-2009 гг. на Барсовой Горе нами было выполнено 19 почвенно-геоботанических описаний, 15 их них в лесах с травяным напочвенным покровом на дренируемых неоподзоленных почвах.

В растительном покрове травяных лесов отмечено нетипичное для средней тайги доминирование травяных видов. Их проективное покрытие (ПП) составляет 40—70%, ПП кустарничков редко превышает 10%, мхов — 3—12%. Весьма любопытным является заметное участие в травяных лесах представителей неморального комплекса (Камелин и др., 1999) — около 25 видов. Некоторые из них (*Pulmonaria mollis*, *Geranium sylvaticum*, *Pleurospermum uralense*, *Cacalia hastata*) выступают в роли содоминантов, формируя покров из крупнотравья. Еще одна особенность травяных лесов — высокая флористическая насыщенность — 40—49 видов высших сосудистых растений на 100 кв.м. Особую ценность эти лесные сообщества имеют благодаря присутствию растений, внесенных в Красную книгу ХМАО (2003). При этом большинство охраняемых видов в границах урочища обнаружены только в лесах указанной группы. Под лесами травяными проявляются лишь слабые признаки оподзоливания. Практически не выявлена гранулометрическая дифференциация в профиле. В элювиальном горизонте отсутствует снижение доли тонкодисперсных частиц. Также не прослеживается в нем обеднение подвижными формами полуторных окислов железа. С другой стороны, в верхней части профиля отмечено накопление гумуса — 4.9—7.4%, мощность гумусового горизонта — 4—6 см (редко до 10(15) см). Весьма показательно для неоподзоленных почв насыщение горизонта А1 катионами кальция (8—17 мг-экв/100 г) и магния (1.2—1.7 мг-экв/100 г), а также фосфором и калием. Мы предлагаем сохранить за этими почвами условное название «таежные бурые», считая необходимым продолжить их дальнейшее исследование.

Ведущую роль в наличии описанных почв, вероятно, играют указанные выше геологические особенности территории. Положительное значение может также иметь преимущественно южная экспозиция участков. Не исключены другие факторы формирования неоподзоленных и неоглеенных почв, включая антропогенное влияние. Постоянное присутствие Человека на протяжении семи тысячелетий подтверждено многочисленными археологическими исследованиями (Барсова Гора, 2002; Чемякин, 2008 и др.). Умеренное воздействие, обуславливающее замещение хвойных лесов лиственными, а также частые пожары усиливают нейтрализацию почвенной среды и тормозят процесс подзолообразования. Разрушение растительного покрова может также стимулироваться эрозией и частыми ветровалами, поскольку участки с уникальными почвами и растительностью находятся непосредственно у склона к пойме.

На песчаных отложениях Барсовой Горы за пределами выхода моренных отложений, распространены типичные для средней тайги автоморфные почвы — подзолы иллювиально-железистые преимущественно под сосняками зеленомошными. Для них характерно обеднение элювиального горизонта гуминовыми веществами, полуторными окислами железа и алюминия, обменными основаниями кальция и магния. На развитие подзолистого процесса также указывают элювиально-иллювиальное распределение тонких фракций, четкая дифференциация почвенного профиля по валовому содержанию кремнезема и полуторных окислов, а также по содержанию подвижного железа. На менее дренированных поверхностях под сосняками кустарничково-сфагновыми прослеживается накопление торфа и формирование торфяно-подзолистых почв.

Работы выполнены при финансировании ООО «Гиперборья», а также при организационной и финансовой поддержке ИК НПЦ «Барсова Гора» и ФГУ НПП «Аэрогеология».

Литература

1. Аветов Н.А., Трофимов С.Я. Особенности почвообразования и структура почвенного покрова бассейна реки Большой Салым (Западная Сибирь) // Почвоведение, 2000. №5. С. 540-547.
2. Барсова гора: 110 лет археологических исследований / Под ред. А.Я. Труфанова и Ю.П. Чемякина. Сургут: МУ ИКНПЦ «Барсова гора», 2002. 224 с.
3. Камелин Р.В., Овеснов С.А., Шилова С.И. Неморальные элементы во флорах Урала и Сибири. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 1999. 83 с. Красная книга Ханты-Мансийского автономного округа: животные, растения, грибы. Екатеринбург: Изд. дом «Пакрус», 2003. 376 с.
4. Левина Н.Б., Ткаченко В.А., Тюрин В.Н., Лаврович Н.Н., Щепетова Е.В. Урочище Барсова Гора – уникальный объект ледниковой геологии и таежной растительности Среднего Приобья // Квартер во всем его разнообразии. Фундаментальные проблемы, итоги изучения и основные направления дальнейших исследований: Материалы VII Всероссийского совещания по изучению четвертичного периода (Апатиты, 12-17 сентября 2011 г.). Апатиты, СПб, 2011. Т 1. С. 28-30.
5. Тюрин В.Н. Кукуручкин Г.М. Барсова гора – уникальный ботанический объект // Биологические ресурсы и природопользование: Сб. науч. тр. Сургут: Дефис, 2006. Вып. 9. С. 235-240.
6. Чемякин Ю.П. Барсова гора: очерки археологии Сургутского Приобья. Древность. Сургут – Омск: ОАО «Омский дом печати», 2008. 224 с.

К ВОПРОСУ О ПРИРОДЕ КИСЛОТНОСТИ ТАЕЖНЫХ ПОЧВ

Шамрикова Е.В.
ИБ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар
shamrik@ib.komisc.ru

Республика Коми характеризуется высоким разнообразием таежных почв. Почвенный покров выровненных водораздельных поверхностей, сложенных бескарбонатными суглинисто-глинистыми породами, под различными типами растительных ассоциаций преимущественно представлен кислыми подзолистыми, болотно-подзолистыми и болотными почвами. В настоящее время при достаточно полном понимании общих положений природы кислотности почв, многие ее аспекты и, прежде всего, взаимосвязи с составом живых организмов, заслуживают отдельного изучения. Методологической основой исследований явился системный подход и рассмотрение экосистемы как единства функционально связанных компонентов — почв, растительности, почвенной микробиоты. Проблема кислотности почв рассмотрена на различных иерархических уровнях. Составлена база данных, полученных за последние 60 лет, по кислотно-основному состоянию почв.

Рассмотрение почвы как тела, эволюционно связанного с развитием биоты, позволило установить ряд закономерностей. От дерново-подзолистых (ПД) к типичным подзолистым (П) и глееподзолистым (ПГ) почвам выявлено закономерное снижение значений pH_{H_2O} и pH_{KCl} органогенных горизонтов. Данный факт связан с тем, что хотя автоморфные почвы формируются под однотипными еловыми лесами, П и ПГ встречаются только под моховым покровом, в напочвенном покрове ПД преобладают травянистые растения. Травы характеризуются более высоким содержанием К, Са и Mg (8—10 %) по сравнению со мхами (менее 3 %). Аналогичная закономерность изменения рН при перемещении в пределах таежной зоны свойственна элювиальным горизонтам, но выражена в меньшей степени; свойства горизонтов В2 почв разных подзон сходны. Рассчитаны парные коэффициенты корреляции между показателями кислотности автоморфных почв. Связь между обменной и гидролитической кислотностью почв характеризуется высокими коэффициентами корреляции вследствие единого источника. Между pH_{H_2O} и pH_{KCl} достоверная линейная корреляция выявлена только в органогенных и элювиальных горизонтах почв. Значения коэффициентов вариации для pH_{H_2O} и pH_{KCl} по почвам и горизонтам составляют менее 10 %. Насыщенность почвенного поглощающего комплекса, обменная и гидролитическая кислотность варьируют в пределах 10—50 %.

Существенным фактором, определяющим кислотность таежных почв, является образование низкомолекулярных водорастворимых органических кислот (НВОК). При сходстве литологического состава пород основным источником НВОК является деятельность биоты. Взаимные связи между этими свойствами почв выявлены как в пределах отдельных подзон в пространственных рядах, соответствующих различным стадиям деструкции растительных остатков и степени увлажнения почв, так и в широтном направлении. Содержание НВОК почв составляет 0.2—15.8 мг/дм³, что не превышает 5 % в пересчете на углерод водорастворимых органических соединений (140—430 мг/дм³). Подзональной особенностью глееподзолистых почв северной тайги является высокое содержание и разнообразие органических оксикислот, обладающих наиболее низкими значениями рКа. Специфика среднетаежных типичных подзолистых почв выражается в повышенном количестве менее сильных алифатических незамещенных кислот. Накопление в глееподзолистых почвах алифатических оксикислот,

вероятно, определяется низкой скоростью их окисления до многоосновных карбоновых кислот, а также их дегидратацей в условиях слабой испаряемости и более высокой влажности, по сравнению с типичными подзолистыми почвами. В гидроморфных рядах суглинистых почв, принадлежащих тем или иным подзонам происходит увеличение разнообразия, количества ароматических и алифатических оксикислот, снижение набора алифатических незамещенных кислот и образование наиболее сильных (прежде всего, щавелевой) кислот. Это связано с разницей водного режима, определяющего различия видового состава живого напочвенного покрова и комплекса микромицетов автоморфных и полугидроморфных почв. Увеличение степени гумификации органических веществ независимо от увлажнения и подзональной принадлежности почв приводит к снижению содержания НВОК.

Расчетами термодинамических равновесий показано, что важнейшим источником кислотности минеральных горизонтов с pH_{KCl} менее 4.5 являются ионы Al^{3+} , в органогенных горизонтах кислотность определяется, главным образом, неспецифическими кислотами и растворимыми фульвокислотами. Установлена особая роль Fe^{3+} в создании обменной кислотности органогенных и элювиальных горизонтов с pH солевых вытяжек менее 3.2. Горизонты с такой кислотностью присущи суглинистым почвам разной степени увлажнения в крайнесеверной и северной подзонах тайги, а также в полугидроморфным и гидроморфным среднетаежным почвам. Мобилизации Fe^{3+} способствует водная миграция ароматических и алифатических оксикислот, обладающих высокой комплексообразующей способностью. Кислотно-основная буферность почв, развивающихся в одних и тех же условиях климата, а также сходных по литологическим признакам, зависит от гидрологических условий элементов микрорельефа, а соответственно от состава, функционирования и продуктивности биоценозов. Степень увлажнения в большей мере определяет изменчивость природы и структуры буферности органогенных горизонтов почв. С увеличением степени гидроморфизма снижается буферная роль Mn^{2+} , реакций катионного обмена и возрастает вклад соединений Al^{3+} и Fe^{3+} . Элювиальные горизонты автоморфной подзолистой почвы обладают повышенными значениями буферности по сравнению с соответствующими горизонтами полугидроморфных почв за счет более активного участия аморфных соединений алюминия и обменных катионов. В более гидроморфных почвах решающее значение принадлежит органическим соединениям.

Таким образом, изменчивость кислотных свойств, буферных характеристик, а также наличие (выраженность) взаимных связей между отдельными показателями кислотно-основного состояния суглинистых почв таежной зоны ограничиваются органогенными и элювиальными горизонтами — толщей массового распределения корней растений, где сосредоточено наибольшее количество и разнообразие микробиоты и где осуществляется биологический круговорот веществ. Отсутствие варьирования кислотных характеристик и связей между ними в иллювиальных горизонтах определяется незначительной их трансформацией почвенными процессами и в первую очередь — биотическими. Это проявляется в отсутствии или пониженном содержании компонентов, являющихся прямыми продуктами почвообразования — органических и Al-, Fe-органических соединений, а также минералов группы почвенных хлоритов.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы ОБН РАН «Экологические качества эталонных почв Европейского Северо-Востока России, их биоорганический потенциал как критерий продуктивности и охраны в свете подготовки Красной книги почв Республики», № 12-Т-4-1006.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ОСНОВНЫХ ПУЛОВ УГЛЕРОДА НА ПРИМЕРЕ СМЕШАННЫХ ЛЕСОВ ЮЖНОЙ ФИНЛЯНДИИ

Шанин В.Н.¹, Комаров А.С.¹, Хораськина Ю.С.¹, Быховец С.С.¹, Mäkipää R.², Linkosalo T.²

¹ИФХуБПП РАН, Пущино; ²Finnish Forest Research Institute, Finland

shaninvn@gmail.com

В рамках работы оценивались продуктивность и потенциал депонирования углерода в экосистемах смешанных лесов. Использовалась система моделей EFIMOD (Komarov et al. 2003) с блоком описания динамики органического вещества почвы ROMUL (Chertov et al. 2001), которая позволяет имитировать развитие древостоев с точным пространственным расположением деревьев, детально учитывая конкуренцию между ними за свет и элементы почвенного питания. Имитировалось развитие модельных участков леса при стационарном климате (наблюдения в период 1961-2007 гг. в Финском метеорологическом институте) (Venäläinen et al., 2005). Для инициализации были использованы данные по содержанию азота и органического вещества в почве (Tamminen, 1991) для трех наиболее распространенных в Финляндии типов леса: чернично-кисличного, черничного и брусничного, согласно принятой в Финляндии классификации (Cajander, 1926). Далее по тексту данные типы леса были обозначены нами, в соответствии с богатством почвы, как «бедный», «промежуточный» и «богатый».

Модель была откалибрована и верифицирована на основе региональных таблиц хода роста (Ilvessalo and Ilvessalo 1975). Были проанализированы основные источники неопределенности во входных данных и параметрах модели с целью минимизации их влияния на результаты моделирования. Имитировалась динамика смешанных древостоев, сформированных березой повислой (*Betula pendula* Roth), елью обыкновенной (*Picea abies* (L.) H.Karst.) и сосной обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) (попарно или все три вида) в различных пропорциях. Естественное возобновление имитировалось из расчета 2000 деревьев на гектар (каждые 10 лет), продолжительность периода моделирования составила 100 лет. Для оценки влияния неопределенности входных параметров на результаты использовалось статистическое моделирование методом Монте-Карло.

Согласно результатам моделирования, чистая первичная продукция и гетеротрофное дыхание почвы возрастали в ряду от бедного типа местообитания к богатому (в среднем на 20%). Чистая экосистемная продукция во всех случаях была положительной. Среди одновидовых древостоев, продуктивность и дыхание почвы были наиболее высокими в сосняках. В березово-сосновых древостоях значения данных показателей возрастали с увеличением доли сосны. В березово-еловых сосновых древостоях продуктивность была максимальной в случае одинаковых начальных долей видов, для дыхания почвы не наблюдалось никакой явной зависимости. В сосново-еловых древостоях как продуктивность, так и дыхание почвенной биоты снижались с увеличением доли участия ели. В трех-видовых древостоях более высокие значения чистой первичной продукции наблюдались при доминировании хвойных пород.

Запас неорганических соединений азота (NH_4^+ и NO_3^-) в почве березово-сосновых древостоев в бедном местообитании возрастал с ростом доли сосны. В более богатых местообитаниях данный показатель был схожим для всех начальных соотношений. В березово-еловых древостоях запас неорганических соединений азота возрастал при возрастании доли

ели. В сосново-еловых древостоях (равно как и древостоях, сформированных всеми тремя видами) значения данного показателя не продемонстрировали заметной связи с начальным видовым составом древостоев. Среди чистых древостоев, максимальный запас минерального азота наблюдался в почве сосняков (для бедного типа местообитания) и ельников (для остальных типов местообитания).

Различия по данному показателю между типа местообитаний (~20%) были значительно больше, чем различия, вызванные вариациями видового состава на начало моделирования (как правило, не более 8%).

Наибольшее накопление углерода в подстилке среди чистых древостоев наблюдалось в сосняках, наименьшее — в ельниках. В смешанных березово-сосновых древостоях, средние значения запаса углерода в подстилке были выше в случае высокой начальной доли сосны. В сосново-еловых древостоях запас углерода в подстилке снижался с ростом доли ели. В березово-еловых древостоях содержание углерода в подстилке было невысоким, не наблюдалось какой-либо четкой зависимости данного показателя от начального соотношения между двумя видами. В трех-видовых древостоях наибольшее накопление углерода в подстилке наблюдалось в случае высокой начальной доли сосны.

Запас органического вещества в минеральных горизонтах характеризуется меньшей, чем запас углерода в подстилке, степенью зависимости от видового состава древесного яруса. Наиболее высокие значения данного показателя можно наблюдать, для всех рассматриваемых типов леса, в древостоях с доминированием сосны.

Работа была выполнена на базе Научно-исследовательского института леса Финляндии при финансовой поддержке Академии наук Финляндии (проекты № 140766 и № 257845) и РФФИ (грант № 12-04-31635).

Литература

1. *Cajander AK* (1926) The theory of forest types. *Acta For Fenn* 29(3):1-108.
2. *Chertov OG, Komarov AS, Nadporozhskaya MA, Bykhovets SS, Zudin SL* (2001) ROMUL – a model of forest soil organic matter dynamics as a substantial tool for forest ecosystem modelling. *Ecol Model* 138(1-3): 289-308.
3. *Ilvessalo Y, Ilvessalo M* (1975) Suomen metsätyypit metsiköiden luontalsen kehitys- ja puuntuotto-kyvyn valossa [The forest types of Finland in the light of natural development and yield capacity of forest stands]. *Acta Forestalia Fennica* 144:1-101 (Finnish with English summary).
4. *Komarov AS, Chertov OG, Zudin SL, Nadporozhskaya MA, Mikhailov AV, Bykhovets SS, Zudina EV, Zoubkova EV* (2003) EFIMOD 2 – the system of simulation models of forest growth and elements cycles in forest ecosystems. *Ecol Model* 170:373-392.
5. *Tamminen P* (1991) Kangasmaan ravinnetunnusten ilmaiseminen ja viljavuuden alueellinen vaihtelu Etelä-Suomessa [Expression of soil nutrient status and regional variation in soil fertility of forested sites in southern Finland]. *Folia Forestalia* 777:1-40 (Finnish with English summary).
6. *Venäläinen A, Tuomenvirta H, Pirinen P, Drebs A* (2005) A basic Finnish climate data set 1961-2000 – description and illustrations. Finnish Meteorological Institute, Reports No. 5, 27 p.

ВЛИЯНИЕ ЗОН АККУМУЛЯЦИИ НА СВОЙСТВА ПОЧВ И СООТНОШЕНИЕ ВИДОВ РАЗНЫХ ЭКОЛОГО-ЦЕНОТИЧЕСКИХ ГРУПП

Шарый П.А.¹, Коротков В.Н.²

¹ИФХиБПП РАН, Пущино; ²ФГБУ «ИГКЭ Росгидромета и РАН», Москва
p_shary@mail.ru

Зоны аккумуляции в лесных экосистемах, которые на малых геологических временах накапливают мелкодисперсные частицы, способны создавать пространственные неоднородности, существенно влияющие как на свойства почв, так и на соотношение видов растений, относящихся к разным эколого-ценотическим группам (ЭЦГ).

В работе изучаются связи ряда свойств почв и состава ЭЦГ видов с рельефом на участке леса размером 2.5 км на 2.5 км, расположенном на юге Московской области, на южной границе зоны смешанных лесов на территории Данковского участкового лесничества. Для участка характерны сочетания дерново-подзолистых и серых лесных почв. Измерения свойств почв и геоботанические описания растительности проводились в 33 точках наблюдения. При обработке геоботанических описаний рассчитывалось число видов растений, относящихся к разным эколого-ценотическим группам. В работе использовалась классификация ЭЦГ, разработанная О.В. Смирновой с соавторами (2004). В зоне аккумуляции протяженностью 400 м наблюдалось резкое, в 2—3 раза, увеличение процента мелкодисперсных частиц почв в слое 0—20 см, и в 5—6 раз — концентрации обменного кальция, а также существенные изменения числа видов различных ЭЦГ. В зоне аккумуляции исчезал иллювиально-железистый горизонт почв.

Особенностью работы является использование методов геоморфометрии, науки о количественном анализе земной поверхности (Shary et al., 2002; Shary, 2012), поскольку, как показало исследование, известный стандартный набор характеристик рельефа далеко не всегда приводит к выявлению тесных связей. Высота была взята с крупномасштабной топографической карты (масштаба 1:10000), преобразованной в матрицу с шагом решетки (размером элемента) 10 м.

С помощью логистической множественной регрессии выявлена тесная связь зоны аккумуляции с рельефом (коэффициент детерминации 0.90), что позволило рассчитать цифровую карту вероятности нахождения зоны аккумуляции. Последняя связана с восточной компонентой экспозиции склонов, а также нелинейно связана с высотой. Далее соответствующая матрица использовалась как индикатор ЗОНА (принимаящий два значения: 1 — зона, 0 — вне зоны) в моделях множественной регрессии, что позволило найти тесные связи свойств почв и ЭЦГ видов с рельефом и построить соответствующие цифровые карты.

Концентрация обменного Са в лесной почве демонстрировала наиболее тесную связь с рельефом и зоной аккумуляции, так что 93% пространственной изменчивости Са объяснялась этими факторами среды, с ведущей ролью зоны аккумуляции. Другие важные для питания растений элементы также возрастали в зоне аккумуляции. Было естественно ожидать, что соотношение ЭЦГ видов зависит от обеспеченности элементами минерального питания.

Для выяснения этого вопроса в каждой точке наблюдения определялось число видов, относящихся к разным ЭЦГ. Показано, что число видов нитрофильной ЭЦГ резко возрастало в зоне аккумуляции (в 4,2 раза), а число видов, связанных с хвойными лесами

(виды боровой и бореальной ЭЦГ), в зоне аккумуляции было в 3 раза меньше, чем за ее пределами. Зона аккумуляции и рельеф объясняли 88% пространственной изменчивости числа видов нитрофильной ЭЦГ и 68% числа видов боровой ЭЦГ. Виды нитрофильной ЭЦГ приурочены преимущественно к зоне аккумуляции, где больше мелко-дисперсных частиц и больше доступных элементов минерального питания. Получены растровые цифровые карты (матрицы) числа видов для основных ЭЦГ.

Формирование зон аккумуляции связано, прежде всего, с продолжительной водной эрозией, поэтому оно повсеместно в гумидном типе климата. Близ таких зон соотношение видов лесных ЭЦГ и свойства почв в значительной степени определяются рельефом. Это можно видеть также, сравнивая пространственную изменчивость pH и органического углерода почв ($C_{орг}$). 88% изменчивости pH объяснялось зоной аккумуляции и рельефом, для $C_{орг}$ ими объяснялось 81%. Построены цифровые карты, из которых видно, что pH более явно следует зоне аккумуляции (возрастая в ней, как и $C_{орг}$). Дальнейшее изучение изменений свойств почв в зонах аккумуляции в лесных экосистемах могло бы дать важную информацию о фактических направлениях и пространственной изменчивости процессов преобразования почв в лесных экосистемах.

Литература

Смирнова О.В., Ханина Л.Г., Смирнов В.Э. Эколого-ценотические группы в растительном покрове лесного пояса Восточной Европы // Восточноевропейские леса: история в голоцене и современность. Книга 1. - М.: Наука, 2004. - С.165-175.

Shary P.A., Sharaya L.S., Mitusov A.V. Fundamental quantitative methods of land surface analysis // *Geoderma*, 2002. - V.107. - P.1-32.

Shary P.A. The mathematical basis of local morphometric variables // *Florinsky I.V. Digital Terrain Analysis in Soil Science and Geology. Appendix A.* - New York, etc.: Elsevier, 2012. - P.289-313.

**СЕКЦИЯ 3. РАЗНООБРАЗИЕ ПОЧВЕННОЙ
ФАУНЫ И МИКРООРГАНИЗМОВ**

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ ИНДИКАЦИЯ ПОЧВ ЭКОСИСТЕМ ЭКСТРЕМАЛЬНОГО ТИПА (КРИОГЕННЫХ, ГИДРОМОРФНЫХ)

Гродницкая И.Д.
ИЛ СО РАН, Красноярск
igrod@ksc.krasn.ru

В условиях континентального климата Сибири, где биодинамика почв недостаточно изучена, особенно актуальным и важным становятся микробиологическая диагностика и на ее основе микробиологический мониторинг состояния почв ненарушенных и антропогенно-нарушенных природных и искусственно-созданных лесных экосистем. В данных условиях важно определить наиболее адекватные микробиологические показатели, характеризующие динамику почвенных процессов. В этой связи, целью исследований являлась индикация почв экосистем экстремального типа с помощью микробиологических критериев.

Исследовали состояние микробных сообществ в криогенных почвах лиственничников (*Larix gmelinii* Rupr.) Центральной Эвенкии (северная тайга) и верховых и низинных торфяно-болотных почвах глубоководных болот Средней и Западной Сибири (средняя и южная тайга). Используя микробиологическую оценку, выявляли наиболее информативные критерии лесорастительного состояния почв.

В лиственничниках Центральной Эвенкии низкие температуры окружающей среды в годовом цикле обуславливают низкую общую биохимическую и микробиологическую активность почв. Время разложения органических веществ в них существенно укорочено вследствие снижения численности и качественного состава представителей гидролитического микробного комплекса ($K_{\text{олиг}} > K_{\text{мин}}$ в 1.5—2.5 раза). Количество спорообразующих бактерий и грибов не превышает 2.5—5.0%. Низкие температуры, периодическое переувлажнение и высыхание почв, а также слабокислая реакция среды объясняют преимущественное развитие в составе микробных комплексов неспорных психрофильных форм бактерий (87—95%), обладающих полифункциональным ферментативным аппаратом. Многочисленна также группа микобактерий, способная в условиях летней вегетации фиксировать значительное количество азота (до 30 мг/г).

Благодаря особому ферментативному аппарату, микобактерии могут использовать в качестве источника энергии труднодоступные для большинства других микробных групп органические соединения, способны осуществлять гетеротрофную ассимиляцию CO_2 воздуха. В вегетационный период в криоземах отмечено снижение коэффициента микробиологической активности ($K_{\text{ма}}$) в 2.5—3.0 раза, потенциальной ферментативной активности (ФА), численности эколого-трофических групп (ЭКТГМ) и биомассы микроорганизмов (МБ) в 1.6—4.5 раз по сравнению с таковыми в почвах южной тайги. В то же время, интенсивность микробного дыхания довольно высокая (БД), поверхностный слой лиственничников выделяет CO_2 , в среднем, в 2.5—3.5 раза больше, чем таковой в серых лесных почвах средней и южной тайги.

В гидроморфных торфяно-болотных почвах Западной и Средней Сибири отмечено преобладание олиготрофных форм микроорганизмов. Численность эколого-трофических групп и микробная биомасса (МБ), в значительной степени

связаны с кислотностью среды, зольностью и ботаническим составом торфа, запасами углерода и азота. Следовательно, биохимические процессы протекают с разной интенсивностью по всей торфяной залежи, что обусловлено специфическими условиями формирования и физиологическим состоянием каждого слоя. Среди гетеротрофных микроорганизмов преобладают виды с окислительным типом метаболизма (*Proteobacteria*), на долю которых приходится от 80 до 98% от общего количества выделенных микроорганизмов. Активность процессов минерализации органики и усвоение мономерных соединений характеризуются достаточно высокими коэффициентами микробиологической минерализации ($K_{\text{мин}} = 1.96\text{—}12.57$) и олиготрофности ($K_{\text{олиг}}$ до 31.2) в верхних аэрируемых горизонтах, и низкими ($K_{\text{мин}} = 0.06\text{—}0.04$) — в зоне анаэробнозиса. Микробный пул торфяной толщи достаточно велик, особенно его потенциал, который на значительных глубинах находится в неактивном состоянии.

Для торфяно-болотных почв глубокозалежных болот характерен как окислительный тип метаболизма, иницируемый аэробными и факультативно-анаэробными микроорганизмами гетеротрофного цикла, так и восстановительный. В анаэробных условиях в разложении органики принимают участие облигатные анаэробы (метаногенные археи), осуществляющие процессы метаногенеза, их состав зависит от типа торфяника, количества видов метаногенов, биохимической сопряженности различных групп микроорганизмов и интенсивности их метаболических процессов. Из почвенных образцов болот южно-таежной части Западной Сибири молекулярно-генетическими методами выявлены анаэробные формы археобактерий (в том числе, метаногенные). Доминирующие археоны олиготрофного болота отнесены к «Rice Cluster II» (*Euryarcheota*), евтрофного - к «Rice Cluster IV» (*Crenarcheota*).

Сопряженное взаимодействие гетеротрофных, факультативно-анаэробных и анаэробных эколого-трофических групп микроорганизмов в толще торфяной залежи, их видовое разнообразие, свидетельствуют об «успешной кооперации» в разложении органики до метана и CO_2 , обеспечивают активное и стабильное функционирование лесоболотных экосистем Сибири, о чем свидетельствуют значения интегрального дыхательного коэффициента (QR).

В целом, микробными индикаторными критериями, характеризующими состояние почв ненарушенных лесных экосистем экстремального (криогенных и гидроморфных) типов функционирования, могут служить состав и численность ЭКТГМ, доминантные группы, виды (ДГ), $K_{\text{ма}}$, МБ, БД, QR, ферментативная активность почвы (ФА), $K_{\text{мин}}$, $K_{\text{олиг}}$.

Работа поддержана проектами РФФИ: № 11-05-00374-а; №11-04-01884-а,
и проектом Президиума СО РАН №30.3.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ И АКТИВНОСТИ МИКРОБНЫХ СООБЩЕСТВ АРКТИЧЕСКИХ И СУБАРКТИЧЕСКИХ ПОЧВ СИБИРИ, ПОДСТИЛАЕМЫХ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТОЙ

Евграфова С.Ю., Холодилова В.В., Ворожцова Е.А.
ИЛ СО РАН, Красноярск
esj@yandex.ru

Исследования проводились в двух экосистемах Сибири, подстилаемых вечной мерзлотой: в Центральной Эвенкии, в районе п. Тура (N 64°, E 100°) — лесная экосистема; и в дельте р. Лена, на острове Самойловский (N 72°, E 126°) — тундровая экосистема.

Почвенное гетеротрофное дыхание и микробная биомасса в обеих исследуемых регионах измерялась кинетическим методом с использованием газового хроматографа. Данные, полученные для гетеротрофного дыхания и микробной биомассы почв морозобойных полигонов тундры, позволяют высказать предположение, что специфические почвенные условия центра и бровки полигона формируют два различных пула гетеротрофных микроорганизмов. В условиях высокой влажности центра полигона распределение микробоценозов по профилю деятельного горизонта происходит равномерно, в то время как отток влаги с верхних горизонтов к нижним на бровке приводит к накоплению микроорганизмов непосредственно над мерзлотой, количество которых сопоставимо с верхними более окисленными горизонтами. Почвенное гетеротрофное дыхание склонов южной и северной экспозиции в лиственничниках в районе п. Тура снижалось с глубиной и коррелировало с содержанием углерода в почве. Микробная биомасса гетеротрофов также зависела от содержания углерода в почве и регистрировалась в 2—8 раз выше, чем в деятельном горизонте почв о. Самойловский.

Анализ содержания углерода и азота в почве исследуемых экосистем показал, что содержание азота в почве лиственничников варьировало от 0.05% до 0.19%, в почве тундровой экосистемы от 0.09% до 0.97%. Содержание общего органического углерода в почве лиственничников колебалось между 0.38% и 8.27%, в почве тундры между 1.99% и 30.2%.

Исследование структуры почвенных микробных сообществ проводилось с помощью анализа жирнокислотного состава мембран клеточных стенок микроорганизмов и этерифицированных углеводов архей (PLFA и PLEL анализы). Из образцов выделены мононенасыщенные жирные кислоты (МНЖК), полиненасыщенные жирные кислоты (ПНЖК), насыщенные жирные кислоты (НЖК) и этерифицированные углеводороды (ЭУ). Структура всех ЖК проанализирована с использованием ГХ-МС. Композиция структуры жирных кислот и этерифицированных углеводов показала ясно различимые отличия между микробоценозами двух исследуемых экосистем. В почве тундровой экосистемы (о. Самойловский) преобладают биомаркеры метанооксиляющих бактерий I и II типа, в то время как в почве лесной экосистемы (п. Тура) доминируют биомаркеры грамположительных и грамотрицательных бактерий и биомаркеры микроэукариот. Подобные особенности строения микробоценозов демонстрируют различные пути утилизации углерода почвенными микробными популяциями исследуемых экосистем.

ВЛИЯНИЕ ВЫСОТНОЙ ПОЯСНОСТИ И ЭКСПОЗИЦИИ СКЛОНОВ НА СТРУКТУРУ ПОЧВЕННОЙ ФАУНЫ В ГОРАХ ЗАПОВЕДНИКА «ПАСВИК» (МУРМАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Зенкова И.В.
ИППЭС КНЦ РАН, Апатиты
Zenkova.home@yandex.ru

Оценено разнообразие и обилие беспозвоночных животных в почвах самой северо-западной в Мурманской области горной системы природного заповедника «Пасвик» (69°14'—18' с.ш.). Исследования выполнены на встречных склонах двух гор, удаленных друг от друга на расстояние 5 км (юго-восточном склоне горы Калкупя и северо-западном склоне горы Кораблекк), в пределах горно-таежного (125—130 м над ур. м.), горно-лесотундрового (200—250 м) и горно-тундрового (270 м) поясов. Эдификатором горно-таежного пояса является лапландская форма сосны обыкновенной *Pinus sylvestris f. lapponica* L., горно-лесотундрового — береза извилистая *Betula tortuosa* Ledeb. На СЗ склоне горы Кораблекк произрастают низкоплотные сосняки кустарничково-лишайниковые возрастом до 300 лет, без следов рубок (Мошников, Крутов, 2012). Пояс березового криволесья представлен узкой полосой единичных деревьев. На ЮВ склоне горы Калкупя старовозрастные сосняки кустарничково-зеленомошные с высотой сменяются густым березовым криволесьем кустарничково-разнотравным. Под горно-лесными поясами сформированы подзолы иллювиально-гумусовые и иллювиально-железистые с подзолистым горизонтом мощностью до 7—10 см. В поясе горных тундр кустарничково-лишайниковых развиты подбуры оподзоленные с недифференцированным профилем (Исследование состояния ..., 2011).

Летом 2012 года в одноименных растительных поясах двух гор на сходных высотах на протяжении 60 сут. экспонировались почвенные ловушки с формалином для учета герпетобионтной фауны. Одновременно с помощью автоматических термохронв регистрировалась температура подстилок на глубине 5 см. В период установки (конец июня) и снятия почвенных ловушек (конец августа) во всех поясах были отобраны образцы подстилки (площадь 0.0625 см²; мощность 4—7 см, повторность 8-кратная) для учета почвенной фауны. В лабораторных условиях животных извлекали из ловушек и образцов методом ручного разбора и последующего электропрогрева подстилок. Определяли влажность каждого образца и величину pH в водной вытяжке.

Установлено влияние факторов экспозиции горных склонов и высотной поясности на различие показателей гидро-термического режима и кислотности горно-лесных подстилок, определившее качественные и количественные различия фауны. Подстилки горно-лесных поясов на СЗ склоне горы Кораблекк по сравнению с одноименными поясами на ЮВ склоне горы Калкупя характеризовались меньшей суммой положительных температур за два наиболее теплых месяца вегетационного сезона (480—530°C против 560—563°C), большим переувлажнением (400—460% против 200—213%) и повышенной кислотностью (pH 3.95—4.06 против 4.61—5.33). Это объяснялось розой ветров: преобладанием в летний период на территории заповедника холодных сырых ветров северного и северо-восточного направлений (Атлас ..., 1971). Различие летней динамики температуры, оцененное методом дисперсионного анализа, оказалось незначимым для двух сосняков, но достоверным для березовых криволесий на встречных склонах гор. Наиболее теплым и стабильным в суточной и летней динамике был почвенный покров густого криволесья на ЮВ склоне, наиболее холодным и переменным — гидроморфный почвенный покров редкостойного криволесья

на СЗ склоне. Высотные различия температуры, влажности и кислотности подстилок были более выражены между горно-лесными поясами СЗ склона по сравнению с ЮВ склоном. В горных тундрах на вершинах обеих гор значения рН оторфованных подстилок были сопоставимы (около 4.3), как и показатели влажности (около 200%).

Выявлены беспозвоночные 32-х таксономических групп. Представители 9 групп отмечены в ловушках и образцах подстилки всех горно-растительных поясов: пауки (Aranei), жужелицы (Carabidae), стафилиниды (Staphylinidae), мягкотелки (Cantharidae), двукрылые (Diptera), цикадки (Cicadellidae), клопы (Hemiptera), муравьи (Formicidae) и прочие перепончатокрылые (Hymenoptera). Преимущественно из подстилок экстрагированы: нематоды (Nematoda), энхитреиды (Enchytraeidae), многоножки (Lithobiidae), личинки щелкунов (Elateridae), почвенно-подстилочные щитовки (Ortheziidae). Только в ловушках выявлены: сенокосцы (Opiliones), жуки мертвоеды (Silphidae) и пилюльщики (Byrridae), представители аэробиионной фауны — шмели (Apidae, Bombus), тли (Aphidoidea), белокрылки (Aleyrodidae), сетчатокрылки (Neuroptera), пилильщики (Tenthredinidae). На ЮВ склоне преимущественно ловушками учтены слизни (Gastropoda), долгоносики (Curculionidae), чешуекрылые (Lepidoptera) и тараканы (Blattodea). Каждым методом большее число таксономических групп было учтено на склоне ЮВ экспозиции. В пределах каждого из склонов различие в числе таксономических групп между высотными поясами было более контрастным в подстилках, чем в почвенных ловушках.

На ЮВ склоне подстилки характеризовались сходным распределением числа таксонов по высотным поясам и срокам отбора (июнь и август); на СЗ склоне — вариабельностью числа таксонов по срокам отбора и в оба срока — снижением числа таксономических групп с высотой. Различие таксономического состава беспозвоночных между встречными склонами было выражено сильнее в березовых криволесьях с наиболее контрастным гидротермическим режимом подстилок: общими для криволесий были 12 групп из 22, общими для двух сосняков — 17 групп из 21, общими для горных тундр — 12 групп из 19.

Гидроморфные подстилки горно-лесных поясов СЗ склона отличались максимальной плотностью почвенной фауны (570—630 экз./м²) при супердоминировании личинок двукрылых (330—400 экз./м²). В горно-лесных подстилках ЮВ склона численность беспозвоночных не превысила 460—500 экз./м². Горные тундры характеризовались минимальными в высотном ряду, но сходными значениями общей численности почвенной фауны (195—205 экз./м²) и доминирующих групп — двукрылых, пауков, щитовок и жесткокрылых (от 20 до 70 экз./м²). В оба сезона отбора в подстилках всех высотных поясов обеих гор доминировали двукрылые (от 12 до 74%), пауки (5—30%) и жесткокрылые (7—35%), в основном — мягкотелки (до 28%), щелкуны и стафилиниды (до 13—15%). Тундры обеих гор отличались обилием щитовок (35—50%), типичных для почв зональных тундр. Фаунистическое сходство оказалось выше между подстилками соседних высотных поясов в пределах каждого из склонов по сравнению с одноименными горно-растительными поясами на встречных склонах.

Проанализирована зависимость численности беспозвоночных в подстилках и их уловистости в почвенных ловушках от влажности, кислотности и показателей температурного режима горных подстилок: T_{\min} , T_{\max} , $T_{\text{средней}}$, суммы T_0 , ≥ 5 и $\geq 10^\circ\text{C}$. Для половины групп, наиболее многочисленных в подстилках, первостепенной и положительной оказалась корреляция с температурным фактором, особенно с величиной T_{\min} и суммами T_0 и $\geq 5^\circ\text{C}$. Эти показатели были наиболее высокими на протяжении июля-августа в подстилках густого

березового криволесья на ЮВ склоне горы Калкупя. Герпетобионтная фауна отличалась от фауны подстилок бóльшим числом теплолюбивых групп, предпочитавших сосняки с максимальным прогревом подстилок до +13...+14°C и наибольшей суммой активных температур $\geq 10^\circ\text{C}$. В целом большинство значимых положительных корреляций как численности почвообитающих беспозвоночных, так и уловистости герпетобионтов, получено с фактором T_{\min} . Можно заключить, что животные предпочитают подстилки горных поясов с наиболее высокими значениями минимальных летних температур. В подстилках березового криволесья на ЮВ склоне горы Калкупя минимальная внутрисуточная температура за период исследования не опустилась ниже +6.1°C. В итоге сумма положительных температур за июль—август 2012 года была здесь максимальной (563°C), несмотря на меньшее по сравнению с горными сосняками число дней с активной температурой $\geq +10^\circ\text{C}$.

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ПОЧВЕННОЙ МЕЗОФАУНЫ В СОСНОВЫХ ЛЕСАХ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ

Колесникова А.А., Конакова Т.Н.
ИБ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар
kolesnikova@ib.komisc.ru

Сосновые леса на европейском Северо-Востоке России распространены в пределах северной, средней и южной тайги. В подзоне северной тайги сосновые леса приурочены к надпойменным террасам рек. Наиболее дренированная приречная полоса занята ягельными и ягельно-зеленомошными сосняками, с продвижением вглубь террасы обычно возникает заболачивание, гипновые мхи вытесняются политрихумом и сфагнумом, появится много голубики, багульника и кассандры. В подзоне средней тайги сосновые леса занимают второе место после ельников. Наиболее крупные массивы их приурочены к борovým террасам рек и к древним флювиогляциальным задровым ландшафтам. В подзоне южной тайги площадь сосняков незначительна (Торлопова, Ильчуков, 2007).

Исследование почвенной мезофауны проведено в летне-осенний период 2008—2012 гг. на территории заказников «Белый» (средняя тайга) и «Новоборский» (северная тайга). В заказнике «Белый» была обследована почвенная мезофауна сосняков лишайникового (зрелый лес и молодое насаждение), лишайниково-зеленомошного и багульниково-сфагнового, в заказнике «Новоборский» – аналогичных растительных сообществ. Для выявления состава и численности групп мезофауны использовали метод прямого учета путем отбора почвенно-подстилочных проб. Для статистической обработки материала рассчитывали индекс доминирования Бергера-Паркера, индексы разнообразия и выравненности Шеннона, индекс биотопической приуроченности (Методы исследования..., 2003).

В таежных лесах исследуемого региона численность и видовое разнообразие беспозвоночных определяются в первую очередь характером растительного опада и типом почвы. В сосняках самая высокая численность и видовое многообразие почвенных беспозвоночных наблюдается в ксеромезо- и мезофитных биотопах с хорошо развитой подстилкой. Повышенная сухость и избыточное увлажнение приводят к количественному и качественному обеднению комплексов почвенного населения (Криволицкий, Рубцова, 1987). Для таежной зоны выявлены минимальная и максимальная численность мезофауны:

на европейском трансекте они составляют 44.5—312.7 экз./м², на западно-сибирском трансекте — 52.8—144.8 экз./м² (Стриганова, 1997). По результатам проведенных исследований, численность мезофауны в среднетаежных сосняках соответствует минимальным значениям, а в северотаежных сосняках этот показатель в два-три раза превышает максимальные значения для европейского трансекта. В сосновых лесах рассмотренных заказников выявлено по 8—11 таксонов крупных почвенных беспозвоночных. Таксономический состав варьирует несущественно: доминируют Araneae, Lithobiidae, Carabidae, Staphylinidae, Cantharidae, Elateridae, Formycidae, Coccidae, Diptera.

Повсеместно в подстилке встречаются Araneae, отдающие предпочтение подзолистым почвам с хорошо развитым моховым покровом. Lithobiidae представлены подстилочным, эвритопным, обычным для Северной Европы видом *Lithobius curtipes*, численность которого сопряжена с увеличением мощности подстилки. Coleoptera в обследованных сосняках представлены семействами, чьи виды обычны в почвах таежных хвойных лесов. Муравьи предпочитают более сухую подстилку сосняков лишайникового и лишайниково-зеленомошного.

Во всех рассмотренных сосняках преобладают трофические группы зоофагов и полифагов, низка значимость таких функциональных групп, как фитофаги и сапрофаги. По биотопической приуроченности везде преобладают виды эвритопной и лесной групп. Особенно велика доля лесных видов (до 80%) в зрелом лишайниковом и зеленомошно-лишайниковых сосняках. В багульниково-сфагновых сосняках на долю этой группы приходится примерно 50%, при этом увеличивается доля эвритопной и лугово-лесной групп.

Анализ видовой структуры населения почвенных беспозвоночных показал, что в средней тайге сообщество молодого лишайникового сосняка самое бедное, а сообщество зеленомошно-лишайникового сосняка самое разнообразное, в северной тайге выявлена та же тенденция. Таким образом, для зеленомошно-лишайниковых сосняков характерно самое разнообразное сообщество крупных почвенных беспозвоночных, отличающееся от других рассмотренных сообществ высокой численностью. При этом, существенных различий в трофической структуре мезофауны сосновых лесов не обнаружено: везде преобладают зоофаги и полифаги. С увеличением степени увлажнения несколько изменяется соотношение экологических групп: происходит замена лесных видов на эвритопные и лугово-лесные виды в сосняках багульниково-сфагновых.

Исследования проведены в рамках Программы Отделения биологических наук РАН «Биологические ресурсы России, оценка состояния и фундаментальные основы мониторинга», проект № 12-Т-4-1001 «Структурная организация сообществ почвенных беспозвоночных в лесах таежной зоны Республики Коми».

Литература

1. Криволицкий Д.А., Рубцова Э.И. Зависимость формирования почвенной мезофауны сосняков и лишайничников от гидротермического режима почвы // Тез. докл. Всесоюз. совещ. «Влияние гидротермического режима на структуру и функционирование биогеоценозов». Сыктывкар, 1987. С. 130-131.
2. Методы исследования структуры, функционирования и разнообразия детритных пищевых сетей. Методическое руководство / Под ред. А.Д. Покаржевского, К.Б. Гонгальского и А.С. Зайцева. М., 2003. 100 с.
3. Стриганова Б.Р. Зональные тренды динамики разнообразия сообществ почвообитающих беспозвоночных // Динамика биоразнообразия животного мира. М., 1997. С. 25-34.
4. Торлопова Н.В., Ильчуков С.В. Сосновые леса европейского Северо-Востока: структура, состояние, флористический комплекс. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 191 с.

УЧАСТИЕ ТЕРМИТОВ В ФОРМИРОВАНИИ ПОЧВЕННЫХ ПОТОКОВ CO₂ ВО ВЛАЖНЫХ ТРОПИЧЕСКИХ ЛЕСАХ ЮЖНОГО ВЬЕТНАМА

Лопес де Гереню В.О.¹, Аничкин А.Е.², Авилов В.К.¹

¹ИФХиБПП РАН, Пущино; ²Совместный Российско-Вьетнамский Тропический научно-исследовательский и технологический центр, Ханой-Хошимин, Вьетнам
vlopes@mail.ru

Процесс деструкции органических остатков в почве осуществляется комплексом разнообразных живых организмов, которые активно участвуют в циркуляции углерода, азота и других элементов (Аничкин, Тиунов, 2011). Огромную роль в цикле биогенных элементов питания в тропических экосистемах играют термиты, которые поглощают около половины всего листового опада (Беляева, Тиунов, 2010). Являясь активными деструкторами растительных остатков, термиты перемещают значительные количества мортмассы в свои жилища, что приводит к значительному накоплению органического материала в гнездах термитов. Так, при концентрации органического углерода в почве 11 ± 3 г С/кг, концентрация углерода в термитнике может достигать 76 ± 10 г С/кг (Bezerra-Gusmão et al., 2011), и именно эта неоднородность распределения органического материала в тропических почвах, заселенных термитами, является ведущим фактором пространственной вариабельности почвенного дыхания. В нашей работе была предпринята попытка дать количественную оценку участия термитов в формировании почвенных потоков CO₂ в муссонных полулистопадных тропических лесах южного Вьетнама.

Исследования проводились на территории южного Вьетнама в национальном парке Нам Кат Тьен, (N 11°30' E 107°20'), относящейся к зоне тропического муссонного климата, с четко выраженной сезонностью: обильными ливневыми дождями летом и сухой зимой. Среднегодовая температура воздуха составляет 26°C при годовом поступлении осадков около 2450 мм. Температура почвы под плотным пологом тропического леса в течение года изменяется незначительно и на глубине 5 см составляет 25.6 ± 4.3 °C.

Определение вклада наземных гнезд термитов в общий поток углекислого газа из почвы проводилось в лагерстремиевом древостое (*Lagerstroemia* spp.) на специальной «термитной» площадке размером 10x10 м², в пределах которой располагались 3 наземных гнезда термитов: одно — рода *Globitermes sulphureus* и два других - рода *Odontotermes*. Для измерения потоков CO₂ на экспериментальной площадке было установлено 52 камеры, представляющих собой пластиковые цилиндры диаметром 9 см и высотой 15 см. Они располагались по сетке с шагом 2 м, а на поверхности термитников и прилегающей к ним территории — через 1 м. Интенсивность выделения CO₂ на «термитной» площадке определяли один раз в сухой сезон (апрель 2011 г.) и 2 раза во влажный сезон (июнь-июль 2011 г.). Одновременно с измерением интенсивности потоков CO₂ с поверхности почвы «термитной» площадки, на ней по сетке с шагом в 1 м в каждый срок отбора газовых проб определялась влажность почвы с помощью электронного влагомера НН-2. Кроме того, во влажный сезон (однократно) *in situ* были определены значения рН почвы с помощью портативного рН-метра ZD-0.5.

Детальный анализ микрорельефа экспериментальной площадки показал, что профиль ее поверхности является зоогенным, т.е. следствием жизнедеятельности термитов рода *Globitermes sulphureus*, строящих высокие и узкие купола, и рода

Odontotermes, возводящих пологие невысокие сооружения с большим количеством подземных камер, зачастую незаметных с поверхности. Поверхность «термитной» площадки была условно разбита на три участка: (1) фоновый — почва без гнезд термитов; (2) переходный — граница гнезд термитов, в пределах которых почва трансформирована деятельностью термитов, но под ней нет гнездовых камер; и (3) гнезда термитов — поверхность почвы, под которой непосредственно располагаются гнездовые камеры термитов.

Наблюдения за влажностью почв показали, что в сухой сезон почвенная влага распределялась равномерно по всей поверхности площадки и не зависела от микрорельефа почвы, находясь в пределах 11—15%. В разгар влажного сезона содержание влаги в почве составляло 32—38%, с минимальными значениями на фоновых участках и максимальными — в гнездах термитов. Однако достоверных связей между профилем рельефа почвы и ее влажностью не обнаружено. Значения кислотности почвы на площадке варьировали в широких пределах: 3.7—6.4 ед. рН. Однако, значимых связей между величиной рН, микрорельефом поверхности и влажностью почвы выявлено не было.

Поток углекислого газа из почвы термитной площадки в конце сухого сезона (апрель) варьировал от 53 до 520 мг С/м²/час. С фонового участка в среднем выделялось 91 мг С/м²/час, из переходной зоны — 172 мг С/м²/час, с поверхности наземного термитника *Globitermes* — 220 мг С/м²/час, подземного *Odontotermes* — 190 мг С/м²/час. Суммарный поток диоксида углерода со всей термитной площадки, с учетом площадей отдельных зон, составлял 13.2 г С/час, или 317 г С/м²/сутки. В разгар влажного сезона (август) суммарный поток диоксида углерода со всей термитной площадки наблюдения был в 2.7 раза выше, чем в сухой сезон (~36 г С/час). Дыхание фонового участка при этом составляло 270 мг С/м²/час, переходной зоны — 455 мг С/м²/час, а поверхности термитников — более 490 мг С/м²/час.

В сухой сезон на фоновом участке варьирование интенсивности почвенного дыхания было незначительным. Максимальный поток СО₂ наблюдался с поверхности гнезда термитов рода *Globitermes sulphureus*. Данное гнездо занимает небольшую площадь (около 1 м²) и наиболее интенсивно углекислый газ выделялся на его вершине: в сухой сезон интенсивность выделения СО₂ достигала 640 мг С/м²/час, а во влажный - превышала 880 мг С/м²/час. Усиление выделения углекислого газа из гнезд термитов рода *Odontotermes* имело менее выраженный характер. Максимальные потоки СО₂ были зафиксированы не на вершине гнезд, а на боковых склонах купола, где гнездовые камеры располагались ближе к поверхности.

Во влажный сезон величина потоков углекислого газа существенно увеличивалась на всей «термитной» площадке. Так, интенсивность почвенного дыхания на фоновом участке возрастала почти в три раза при значительном усилении его пространственной неоднородности. Примерно в такой же пропорции увеличивается и поток СО₂ с поверхности куполов гнезд термитов. На высоком куполе гнезда *Globitermes sulphureus* интенсивность выделения углекислого газа по-прежнему была максимальной. В течение всего периода наблюдений, интенсивность потока углекислого газа с куполов гнезд термитов в 2—2.5 раза превышала интенсивность потока из фоновой почвы.

Проведенные исследования позволяют заключить, что в хорошо дренированных почвах влажных тропических лесов жизнедеятельность термитов обеспечивает значительную неоднородность потоков углекислого газа из почв. В среднем, интенсивность потоков СО₂ с купола гнезд термитов превышает фоновую в 2—2.5 раза.

Занимая площадь чуть меньше 4% от всей площади национального парка Нам Кат Тьен, купола гнезд термитов выделяют в атмосферу около 10% от суммарного потока CO₂ из почв заповедника. В тоже время, изменений микрорельефа почвы, вызванного жизнедеятельностью термитов, недостаточно для значимого изменения величины кислотности почв и ее влажности.

Работа выполнялась при поддержке РФФИ (проекты 12-05-00197а и 12-04-00201а), программы Президиума РАН №4 и гранта Научная школа № 6620.2012.4.

Литература:

1. Динамика поступления и деструкции растительного опада // Структура и функции почвенного населения тропического муссонного леса (национальный парк Кат Тьен, южный Вьетнам) / ред. А.В. Тиунов. — М.: КМК. 2011. С. 188-207.
2. Термиты (Isoptera) в лесных экосистемах национального парка Кат Тьен (Южный Вьетнам) // Известия РАН. 2010. Сер. Биол. № 4. С. 442-450.
3. et al. (2011) Are nests of *Constrictotermes cyphergaster* (Isoptera, Termitidae) important in the C cycle? // *Appl. Soil. Ecol.* V. 47. P. 1-5.

СТРУКТУРА НАСЕЛЕНИЯ ПАНЦИРНЫХ КЛЕЩЕЙ В МИКРОМЕСТООБИТАНИЯХ ХВОЙНЫХ ЛЕСОВ ПОДЗОНЫ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ

Мелехина Е.Н.

ИБ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар
melekhina@ib.komisc.ru

Панцирные клещи — одна из наиболее многочисленных групп почвенной микрофауны. Наиболее высокой численности и биомассы они достигают в почвах таежных лесов. Орибатиды вносят огромный вклад в процессы трансформации органических остатков и гумусообразования, участвуют в биогенном круговороте веществ. Представляет интерес изучение особенностей распределения панцирных клещей по микроместообитаниям в пределах одного растительного сообщества, поиск параметров разнообразия орибатид, индикаторных для определённых местообитаний.

В качестве микроместообитаний панцирных клещей рассматривали популяции лишайников разных видов (напочвенных *Cladina arbuscula*, *Cladina rangiferina*, *Cladina stellaris*, *Cetraria islandica*; эпифитных *Hypogimnia physodes* и *Bryoria* sp.) и почву в еловых и сосновых сообществах среднетаежных лесов. Наблюдения проведены в четырех растительных сообществах: сосняке лишайниково-зеленомошном, сосняке черничном, ельнике черничном и ельнике зеленомошном. Анализировали данные о видовом составе, доле каждого вида в структуре населения рассматриваемых группировок орибатид (p_{ij} %), степени участия местообитаний в размещении вида (q_{ij} %), степени относительной биотопической приуроченности видов (F) (Песенко, 1982), относительном обилии жизненных форм и видовом разнообразии орибатид в местообитаниях. Сходство видового состава панцирных клещей в разных местообитаниях определяли с помощью индекса Чекановского-Серенсена (Ics). Основой для данного сообщения послужили полевые материалы, собранные в летний период 1989 г. в подзоне средней тайги Республики Коми (окрестности пос. Кажим Койгородского р-на).

Исследованные местообитания отличались по видовому составу и структуре населения панцирных клещей. Выявлена специфичность населения орибатид эпифитных лишайников. Сходство видового состава панцирных клещей в эпифитах и напочвенных лишайниках было невысоким: $I_{cs} = 0.16—0.40$ — в разных биотопах: $0.16—0.36$ — в ельниках, $0.23—0.40$ — в сосняках. Еще более низкое сходство имели эпифиты с почвой ($I_{cs} = 0.10—0.26$). При этом более низкие значения I_{cs} отмечены для ельников, более высокие — для сосняков. Самое низкое сходство с почвой показано для кустистого эпифита *Bryoria* sp. Для напочвенных лишайников отмечено достаточно высокое сходство с почвой по видовому составу орибатид ($I_{cs} = 0.36—0.60$).

Видовое богатство панцирных клещей было значительно выше в почве (от 26 до 30 видов), чем в лишайниках (10—20 видов — в напочвенных; 10—14 — в эпифитных). В почве отмечено более низкое суммарное обилие доминирующих видов орибатид (39—66 %), по сравнению с лишайниками. Группы доминантов составляли *Tectocephus velatus*, *Oppiella nova*, *Chamobates borealis*, *Schelorbates laevigatus*, *Carabodes subarcticus*; группы субдоминантов — *Oppia globosa*, *Suctobelbella acutidens*, *Suctobelbella baloghi*, *Ceratozetes sellnicki*. Население орибатид напочвенных лишайников характеризовалось сходной структурой. Группы доминантов составляли три-четыре вида. К числу доминирующих видов в напочвенных лишайниках относились *Carabodes subarcticus*, *Carabodes marginatus*, *Tectocephus velatus*, *Schelorbates laevigatus*. В эпифитных лишайниках наблюдалась упрощенная структура доминирования: один—два вида преобладали по обилию, часто один вид был абсолютным доминантом, остальные виды были представлены небольшим числом экземпляров.

Положительную биотопическую приуроченность к *H. physodes* в сосняках проявили виды *Zygoribatula propinqua*, *Carabodes labyrinthicus* и *Diapterobates humeralis* ($F = 0.8—1.0$); к *Bryoria* sp. в ельниках — *Phauloppia nemoralis* и *Zygoribatula propinqua* ($F = 0.9—1.0$). Приуроченность к напочвенным лишайникам р. *Cladina* показали виды *Carabodes subarcticus*, *Schelorbates laevigatus*, *Trhypochthonius cladonicola* ($F = 0.33—0.68$); к *Cetraria islandica* – *Adoristes poppei* ($F = 0.55—0.99$).

В каждой группе микроместообитаний (эпифитные лишайники — напочвенные лишайники — почва) наблюдалось определенное соотношение жизненных форм панцирных клещей. Основу населения орибатид в эпифитах составляли эврибионты и обитатели поверхности почвы. В напочвенных лишайниках ведущая роль, как правило, принадлежала обитателям поверхности почвы. Специфика почвенных группировок заключалась в высоком относительном обилии обитателей мелких почвенных скважин. Таким образом, население панцирных клещей в различных микроместообитаниях таёжных сообществ отличается по видовому составу, составу доминирующих видов, относительному обилию жизненных форм.

Работа выполнена при поддержке Программы Отделения биологических наук РАН «Биологические ресурсы России, оценка состояния и фундаментальные основы мониторинга», проект № 12-Т-4-1001 «Структурная организация сообществ почвенных беспозвоночных в лесах таёжной зоны Республики Коми».

ВКЛАД МИКОРИЗЫ В ПОТОК ПОЧВЕННОГО CO₂ ПОД РАЗНЫМИ ДРЕВЕСНЫМИ ПОРОДАМИ

Меняйло О.В., Матвиенко А.И.
ИЛ СО РАН, Красноярск
menyailo@hotmail.com

Микориза играет важную роль в лесных почвах. Вклад микоризы в почвенные процессы определяется количеством углерода, поступающего из корней деревьев в микоризный мицелий. Количественные оценки поступления С в микоризу фрагментарны, представления о временной динамике отсутствуют. В работе применен новый метод сетчатых колец и впервые изучено влияние древесных пород на суточную и сезонную динамику потока углерода из трех основных источников почвенного дыхания — 1) корней растений, 2) микроорганизмов и 3) микоризы.

Исследования проводились на опытных участках Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, где в 1971 году по инициативе проф. Н.В. Орловского были высажены 6 основных лесобразующих пород: ель сибирская (*Picea abies obovata* Le-deb.), сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), сосна кедровая сибирская (*Pinus cembra sibirica* Du Tour), лиственница сибирская (*Larix sibirica* Le-deb.), береза повислая (*Betula pendula* Roth), осина (*Populus tremula* L.). Площадь каждого участка с одной лесной породой — 2400 м². Формирование искусственных лесных биогеоценозов протекало в схожих геоморфологических и климатических условиях. Все различия в почвенных свойствах, возникшие в ходе данного полевого эксперимента, можно однозначно трактовать как влияние различных древесных пород. Данный эксперимент посещался профессором МГУ им. М.В. Ломоносова Львом Оскаровичем Карпачевским, моральная поддержка и энтузиазм которого вдохновляли на новые исследования.

Обнаружена четкая сезонность в транспорте углерода в микоризу, максимальные значения обнаружены во второй половине вегетационного сезона. Древесные породы сильно различались по активности транспорта углерода в микоризу, наибольший вклад отмечен в лиственных породах — под березой и лиственницей, под хвойными породами наибольший поток углерода через микоризу отмечен под елью.

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ЛЕСОРАСТИТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ ПОЧВ СИБИРИ

Сорокин Н.Д.
ИЛ СО РАН, Красноярск
microlab@ksc.krasn.ru

Среди почвенных факторов лесорастительной способности особое место занимает азот, так как наличие его в почве зачастую определяет продуктивность растительных сообществ. Это особенно важно для лесных почв Сибири, имеющих неблагоприятный температурный режим и содержащих небольшие количества подвижного азота при малых его запасах. В свою очередь, динамика азотсодержащих соединений в лесных почвах тесно связана с динамикой органического углерода и сопряжена с жизнедеятельностью микробных комплексов. В связи с этим был проведен многолетний (2002—2012 гг.) анализ микробных ассоциаций азотно-углеродного цикла по параметрам их численности, биомассы и функциональной активности в почвах лесных биогеоценозов Среднего и Нижнего Приангарья, Центральной Эвенкии и Приенисейской части юга Красноярского края.

Выявлено, что практическое отсутствие в почвах азотобактера и типичных нитрифицирующих бактерий компенсируется развитием здесь аммонификаторов, анаэробных азотфиксаторов, олигонитрофилов и микроорганизмов, ведущих гетеротрофную нитрификацию. Размах колебаний и среднее число аммонификаторов в исследованных почвах сравнительно невелики даже в органогенных горизонтах от 13,5 до 17,4 млн. КОЕ г почвы. Азотфиксирующая активность исследуемых почв связана с численностью выше указанных групп микроорганизмов азотного цикла и достигает 6,5 мг на 1г глюкозы в дерново-глубокоподзолистой почве. Такая высокая азотфиксирующая способность в летний период характерна для плодородных почв.

В качественном составе микроорганизмов, мобилизующих азот, преобладают бактерии рода *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Clostridium*, а также многочисленная группа различных видов олигонитрофильных бактерий. Преимущественное использование микробоценозами и фитоценозами лесных сообществ аммонийных форм азота проявляется в преобладающем развитии в исследуемых почвах аммонифицирующих микроорганизмов. Энергия размножения аммонификаторов выражается в аммонифицирующей способности почв. Накопление поглощенного аммония наиболее активно происходит в серых лесных и дерново-подзолистых почвах Приенисейской Сибири и пассивно — в супесчаной почве Среднего Приангарья. В первом случае накапливается до 17—20 мг N⁻ NH₄ на 100 г почвы, во втором — 3.5 мг.

Определение запасов различных форм азотных соединений в полуметровом слое почв показало, что самые низкие величины зафиксированы в таежных осолоделых красно-бурых почвах. Максимальное содержание легкогидролизуемого азота сосредоточено в профиле серых лесных осолоделых суглинистых и дерново-перегнойных почв. Количество легкогидролизуемых компонентов в составе азотного фонда может быть показателем эффективного плодородия почв. Но реализация его, как правило, определяется общим биологическим состоянием почв и активностью микрофлоры.

Микробиологический анализ изученных почв свидетельствует, что максимальной численностью и продуктивностью микрофлоры обладают дерново-подзолистые суглинистые и серые лесные оподзоленные почвы. Высокой микробной массе

соответствует и более высокая энергия разложения органического вещества, которая определяется показателями протеазной и целлюлозной активности и выражается через коэффициент микробиологической активности K_{ma} , представляющий собой отношение суммарной деструкции целлюлозы и желатина к биомассе микроорганизмов за период экспозиции субстратов в почве (Сорокин, 1993).

Таежные осолоделые красно-бурые, серые лесные и дерново-карбонатные почвы характеризуются меньшей микробной массой. Наиболее низкий уровень численности и продуктивности микроорганизмов отмечается в дерново-перегнойных, псевдоподзолистых супесчаных и перегнойно-поверхностно-глеевых почвах. Здесь же отмечены самые низкие показатели K_{ma} .

Потенциальное и эффективное плодородие дерново-подзолистых почв по содержанию азота и углерода можно классифицировать как высокое. Однако определение численности микроорганизмов, продуктивности микробной массы, целлюлозоразрушающей способности, активности протеазы выявили очень низкий уровень биологических процессов. В трансформации органических соединений здесь преобладают процессы накопления и консервации, а процессы минерализации, обеспечивающие питательный потенциал почв, ослаблены. Псевдоподзолистые супесчаные почвы обладают невысокими запасами, как общего, так и гидролизуемого азота. При этом они характеризуются слабой биологической деятельностью, что дает основание говорить об их низком потенциальном и эффективном плодородии. Для группы серых лесных оподзоленных почв при удовлетворительном обеспечении гумусом и азотом свойственна значительная напряженность биологических процессов, что заметно выделяет их по уровню эффективного плодородия.

Известно, что микробиологическая трансформация азотсодержащих соединений в почве тесно связана с динамикой почвенного углерода. Нами установлено, что в таежных почвах Сибири в сезон высокой биологической активности (вегетационный период) количество генераций микробной биомассы в месяц может достигать 7—9. При этом биогенность 1 г почв лесных территорий составляет от 2.3 млрд. клеток в условиях Севера Сибири до 6.4 млрд. в Приангарье и 8.9 млрд. — на юге Красноярского края, что соответствует их реальной величине трофического коэффициента. Общая продуктивность бактерий и грибов верхнего гумусированного горизонта почв исследованных биогеоценозов достигает 1.4—4.0 мг/см³ (1.2—3.8 т/га в слое 0—50 см). Установлено, что содержание углерода в микробной клетке колеблется от 48 до 58% (Шлегель, 1987). Следовательно, расчетный углерод микробной биомассы исследованных почв меняется в пределах 0.65—2.0 мг/см³ (0.7—1.3 т/га в слое 0—50 см). Активность сопряженной микробиологической трансформации азота и углерода, скорость деструкции углерод — и азотсодержащих соединений в почве обеспечивает ее трофность.

Таким образом, микроорганизмы азотного и углеродного цикла в лесных почвах Сибири являются основными агентами их эффективного плодородия. Вместе с тем, установлено, что показателями плодородия (лесорастительной способности почв) являются продуктивность микробной массы, запас энергии в ней и биологическое состояние почв в целом. Данные микробиологические параметры адекватно характеризуют почвенные условия произрастания древостоев и их производительность. Бонитет древесных насаждений тем выше, чем выше энергия микроорганизмов и их активность. В условиях промерзающих почв Сибири возрастание микробиологической активности, в короткий период вегетации растений, имеет однозначно положительное значение, как для плодородия почвы, так и для продуктивности древостоя, поскольку высокая энергия минерализации органического вещества обеспечивает необходимую для роста растений и микроорганизмов иммобилизацию продуктов разложения.

МИКРОБНЫЙ КОМПОНЕНТ ПОЧВ ЕЛОВЫХ ЛЕСОВ ГЕОХИМИЧЕСКИ СОПРЯЖЕННОГО СЕВЕРОТАЕЖНОГО ЛАНДШАФТА (КОЛЬСКИЙ ПОЛУОСТРОВ)

Сусьян Е. А.¹, Ананьева Н. Д.¹, Орлова М. А.², Лукина Н. В.²

¹ИФХиБПП РАН, Пущино; ²ЦЭПЛ РАН, Москва

ananyeva@rambler.ru

Почва — основной элемент наземной экосистемы, активными агентами которой являются почвенные микроорганизмы (микробное сообщество), биомасса которых составляет около 85% таковой всех почвенных микроорганизмов и обеспечивает почти 70% всего потока CO₂ суши в атмосферу. Знания о запасе микробного пула, его дыхательной активности (продуцирование CO₂) и структуре в почвах разных лесов важны для экологических исследований, в том числе, и прогнозных сценариев. Особый интерес представляют ненарушенные лесные экосистемы, в которых запасы углерода, а также его микробной составляющей, отражают их природный потенциал.

Цель работы — изучение пространственного распределения микробного компонента подзолов иллювиально-железистых, доминирующих в бореальных лесах, на трех пространственных уровнях лесного биогеоценотического покрова: элементарных биогеоареалов (ЭБГА), БГЦ и геохимически сопряженных ландшафтов. ЭБГА — это базовая пространственная структурно-функциональная единица биогеоценотического покрова (Орлова, 2013).

Район исследования расположен в центральной части Кольского полуострова на южном берегу озера Умбозеро (67°29' с.ш. и 34°32' в.д.). Объектами исследования послужили почвы трех типов ельников: ельника чернично-зеленомошного, ельника зеленомошно-деренно-вороничного с участием березы и ельника зеленомошно-багульниково-сфагнового, расположенных в автоморфной, транзитной и аккумулятивной позициях ландшафта. Образцы почв отбирали в пятикратной повторности в органогенных и минеральных горизонтах с учетом доминирующих в каждом типе леса ЭБГА. В ельнике чернично-зеленомошном выделены следующие ЭБГА: еловый мертвопокровный (E_{мп}), еловый кустарничково-зеленомошный (E_{кз}), кустарничково-зеленомошный (КЗ) и еловый подрост (E_м). В ельнике зеленомошно-деренно-вороничном — еловый мертвопокровный, еловый кустарничково-зеленомошный, деренно-кустарничково-зеленомошный (D_{кз}) и березовый (Б). В ельнике зеленомошно-багульниково-сфагновом — еловый кустарничково-зеленомошный, багульниковый (БА) и сфагновый (СФ). Органогенные горизонты делили на подгоризонты: L, F, H.

Образцы органогенных и минеральных горизонтов (масса не менее 50 и 100 г соответственно) просеивали через сито (ячейки 2 мм), некоторые образцы из органогенных горизонтов измельчали ножницами, увлажняли до 250 и 55% полной влагоемкости, соответственно, а затем помещали на предынкубацию (7 сут., 22°C). В образцах почвы определяли содержание углерода микробной биомассы (C_{мик}) методом субстрат-индуцированного дыхания (СИД), основанного на регистрации начального максимального дыхания почвы (через 3—5 ч) после внесения в неё дополнительного субстрата (0.1 мл раствора глюкозы г⁻¹ почвы или 10 мг г⁻¹). Метод предполагает строгое соблюдение условий, связанных с временным интервалом (не более 6 ч) взаимодействия почвы с глюкозой (происходит ее окисление и соокисление). Базальное (микробное) дыхание почвы оценивали по скорости образования CO₂ нативной почвой (24 ч), в

которую вместо раствора глюкозы внесена вода. Рассчитывали «интегральные» показатели функционирования микробного сообщества почвы: а) удельное дыхание микробной биомассы (qCO_2), выраженное отношением БД/ $C_{\text{мик}}$ (иллюстрирует экофизиологический статус микробного сообщества) и б) доля $C_{\text{мик}}$ в общем органическом углероде почвы ($C_{\text{общ}}$), указывающая на доступность углеродного субстрата микроорганизмам и характеризующая «качество» углерода почвы.

Содержание $C_{\text{общ}}$ и $N_{\text{общ}}$ в органогенных горизонтах (ельник кустарничково-зеленомошный) составило 18—68% и 0.53—1.88%, значение pH_{H_2O} — 3.7—5.4, а в минеральных — 0.64—2.34 и 0.03—0.13%, pH 4.1—5.1 соответственно.

Наибольшие величины $C_{\text{мик}}$ и БД отмечены в органогенных горизонтах по сравнению с минеральными (различие 1—2 порядка). Так, в подгоризонтах L содержание $C_{\text{мик}}$ и скорость БД достигали 5442—30063 мкг С г⁻¹ субстрата и 25.1—29.2 мкг CO_2 -С г⁻¹ ч⁻¹, что в 2—4 и 4—6 раз меньше, чем таковые в подгоризонтах H (1238—13545 мкг С г⁻¹ и 4.2—30.2 мкг CO_2 -С г⁻¹ч⁻¹ соответственно).

Обогащенность почвы (подгоризонт H) микробной биомассой была наибольшей в древесных ЭБГА изученного ландшафта по сравнению с межкрановыми, она составила в среднем 4756 ± 1218 , 4532 ± 729 , 3986 ± 358 , 2923 ± 370 мкг С г⁻¹ для $E_{\text{мп}}$, $E_{\text{кз}}$, $E_{\text{м}}$ и КЗ ельника кустарничково-зеленомошного; 6660 ± 2357 , 5871 ± 6155 , 5703 ± 1925 , 3369 ± 1969 для $E_{\text{кз}}$, Б, $E_{\text{мп}}$, ДКЗ ельника деренно-кустарничково-зеленомошного и 5663 ± 4702 , 3271 ± 914 , 2583 ± 1415 мкг С г⁻¹ для $E_{\text{кз}}$, СФ, БА для ельника зеленомошно-багульниково-сфагнового соответственно. Скорость БД для подгоризонта H была также в среднем больше в древесных ЭБГА, чем в межкрановых.

Величина qCO_2 растительных горизонтов в среднем выше, чем соответствующих минеральных, к тому же эта величина превышает таковое (в 2—3 раза) в лесах умеренной зоны, что, в свою очередь, может свидетельствовать о более «хрупком» функционировании микробного сообщества изученных северотаежных лесов. Отношение $C_{\text{мик}}/C_{\text{общ}}$ в автоморфного ландшафта составило 0.9—2.5%.

Показатели $C_{\text{мик}}$ и БД в подгоризонтах F еловых кустарничково-зеленомошных ЭБГА, встречающихся во всех исследованных типах БГЦ, не различались (8480 ± 2404 , 9052 ± 1691 , 8026 ± 894 мкг С г⁻¹ и 41.4 ± 3.0 , 31.2 ± 7.7 , 29.1 ± 8.3 мкг CO_2 -С г⁻¹ ч⁻¹ соответственно). При этом, запасы $C_{\text{мик}}$ в профиле еловых кустарничково-зеленомошных ЭБГА (L+F+H+E+V) трех типов ельников составили 23596, 37693 и 23344 мкг С г⁻¹, указывая на большую обогащенность микробной биомассой почвы ельника, расположенного в транзитной позиции ландшафта. При этом запасы $C_{\text{мик}}$ в почвах еловых мертвопокровных ЭБГА в исследованных еловых БГЦ были примерно одинаковы (26209 и 27792 мкг С г⁻¹ соответственно).

Таким образом, показано, что почвы еловых северотаежных лесов обладают высокой биогенностью и дыхательной (эмиссионной) активностью, сосредоточенной преимущественно в органогенных, а не в минеральных горизонтах, что свидетельствует об отличительных особенностях распределения микробного компонента почв по почвенному профилю по сравнению с таковыми лесов умеренной зоны. Выявлена широкая пространственная вариабельность содержания углерода микробной биомассы и скорости микробного дыхания (эмиссия CO_2 в атмосферу) в почвах изученных ЭБГА, причем эти показатели в древесных ЭБГА были в среднем выше, чем в межкрановых, а в ельниках транзитных позиций ландшафта выше, чем в ельниках автоморфной и аккумулятивной позиций.

НОВЫЕ ВИДЫ ЗЕЛЕННЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ (CHLOROPHYTA) СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЫ

Темралеева А.Д.¹, Минчева Е.В.², Букин Ю.С.², Щербаков Д.Ю.², Пинский Д.Л.¹

¹ИФХиБПП РАН, Пущино, ²ЛИН СО РАН, Иркутск

temraleeva.anna@gmail.com

Зеленые водоросли (Chlorophyta) являются неотъемлемым компонентом биоразнообразия различных экосистем, применяются для решения ряда биотехнологических задач, а также как модельные научные объекты в фотобиологии, генетической инженерии и др. Несмотря на то, что история изучения зеленых водорослей насчитывает уже не одно столетие, открытие новых видов и выявление неожиданных филогенетических отношений происходит ежегодно. Границы географического распространения зеленых водорослей, особенно почвенных и аэрофильных, установить непросто. Например, закономерной картины распределения видов водорослей в Украине не существует, уже начиная с территорий рангом ниже физико-географической зоны (Петлеванный, 2003). Создается впечатление, что многие виды водорослей, определенные морфологически, могут быть найдены везде или почти везде. Тем не менее, морфовид — это всего лишь гипотеза о валидности вида, которую необходимо подтвердить или опровергнуть другими методами, в первую очередь молекулярными, т.к. морфологическое сходство может быть обусловлено не генетическим родством, а конвергентной эволюцией в сходных экологических условиях. Так, за последнее десятилетие была показана полифилия ряда родов зеленых водорослей, т.е. сходные морфовиды оказались представителями разных родов, порядков и даже классов отдела Chlorophyta. Согласно современным представлениям, для определения точной систематической принадлежности зеленых водорослей необходимо применять полифазный подход, учитывающий молекулярные, морфологические, физиологические, экологические и другие данные.

Целью данной работы являлось установление таксономического положения двух штаммов зеленых водорослей серой лесной почвы, используя полифазный подход.

Пробы серой лесной почвы были отобраны из верхнего 5 см слоя горизонта А1 в 2009 г. на пробной площадке №4 ИФХиБПП РАН (Московская область, Центральная часть Восточно-Европейской равнины, зона широколиственных лесов). Выделение водорослей из почвы и дальнейшее культивирование проводили на среде BG11 с азотом (1% агар, рН=7.0) при температуре +23—25°C, освещенности 2000 Лк и световом режиме 12:12 ч. Для изучения морфологии клеток исследуемых штаммов и наблюдении за их жизненным циклом использовали микроскопы Leica DM750 и Carl Zeiss Axio Scope A1. ДНК выделяли из альгологически чистой культуры штамма с помощью лизирующего буфера СТАВ и протеиназы К с последующей экстракцией смесью хлороформ-изоамиловый спирт. Праймеры и условия ПЦР для амплификации фрагментов ядерного гена 18S рДНК и пластидного гена *rbcl* использовали из работ Katana et al., 2001 и Hall et al., 2010. ПЦР-продукты анализировали электрофоретически в 1% агарозном геле. Секвенирование нуклеотидных последовательностей проводили в компании «Синтол» (Москва, Россия). Выравнивание нуклеотидных последовательностей осуществляли по алгоритму ClustalW (BioEdit), для выбора модели нуклеотидных замен использовали программу jModelTest. Реконструкцию филогенетических взаимосвязей осуществляли методом максимального правдоподобия (Phyml) и методом Байеса (Mr. Bayes 3.1). Статистическая поддержка — бутстреп 1000 повторностей.

В результате исследования пробы серой лесной почвы было выявлено 2 интересных в систематическом отношении штамма зеленых водорослей, которые вошли в состав рабочей коллекции культур водорослей ИФХиБПП РАН — ACSSI (Algal Collection of Soil Science Institute).

Штамм ACSSI 14 по морфологии близок к представителям рода *Elliptochloris*, что не подтвердилось молекулярным анализом фрагмента ядерного гена 18S рДНК. Используя программу BLAST, установили, что последовательность изучаемого штамма имела 99 % гомологии с последовательностями штаммов типового вида *Watanabea* — *W. reniformis* (HQ287927, X73991, FM958480). Филогенетический анализ показал, что штамм ACSSI 14 с высокой статистической поддержкой принадлежит роду *Watanabea*, но кластеризуется отдельно от типового вида. По морфологии исследованный штамм отличается от типового вида наличием пиреноида, формой и количеством автоспор. Кроме того, изученный штамм является почвенным, в то время как штаммы *W. reniformis*, нуклеотидные последовательности которых были взяты для анализа из GeneBank, были выделены из различных водоемов. Мы предполагаем, что исследованный штамм является новым видом в роде *Watanabea* — *W. pyrenoidosa*.

Watanabea pyrenoidosa A.D. Temraleeva, E.V. Mincheva, Yu.S. Bukin, D.Yu. Sherbakov, D.L. Pinsky, *sp. nov.*

Описание: клетки одиночные, молодые эллипсоидно-удлиненные, зрелые имеют шаровидную форму. Размеры молодых клеток составляют 3.5—5.0x7.0—10 мкм, зрелые до 10 мкм в диаметре. Оболочка тонкая. Хлоропласт 1, в молодых клетках лентовидный, занимает половину клеточного пространства, в зрелых клетках рассеченный, занимает почти все пространство. Ядро 1. Пиреноид 1, из многочисленных зерен крахмала. Автоспоры по 2—4, эллипсоидные или яйцевидные или мелкие по 16—32 заостренные эллипсоидные или яйцевидные. 1—2 автоспоры часто остаются внутри спорангия. Зооспоры и половой процесс неизвестен. При старении культура не краснеет. От типового вида *Watanabea reniformis* отличается наличием пиреноида, формой и количеством автоспор.

К описанию рода *Watanabea* необходимо сделать дополнения: пиреноид имеется или отсутствует, бесполое размножение автоспорами, в спорангии 2—4 шаровидных споры или 9-16(32) эллипсоидных или яйцевидных автоспор.

Второй исследованный штамм — ACSSI 15 имел некоторые схожие черты с зелеными водорослями родов *Chlorosphaeropsis* и *Spongiosococum*, но и существенные отличия: губчатый хлоропласт и одно ядро в первом случае, несколько пиреноидов и зооспоры без оболочки (?) — во втором. Данный штамм образовывал совершенно отдельную ветвь во всех филогенетических реконструкциях с использованием обоих молекулярных маркеров (18S рДНК и *rbcl*). Морфологические особенности и молекулярный анализ фрагментов генов ядерного и пластидного геномов данной водоросли позволяет выделить ее в новый род — *Spongiosarcinopsis*, и типовой вид — *Spongiosarcinopsis terrestris*.

Spongiosarcinopsis terrestris A.D. Temraleeva, E.V. Mincheva, Yu.S. Bukin, D.Yu. Sherbakov, D.L. Pinsky, *sp. nov.*

Описание: одиночные клетки шаровидные или в диадах, тетрадах и более сложных комплексах, образующихся путем десмосхизиса. Хлоропласт 1, в молодых клетках — пристенный, в зрелых — центральный, губчатый, грубеющий с возрастом культуры. Пиреноидов несколько, окружены несколькими крахмальными скорлупками. Ядро 1. Слизистая оболочка толстая. При старении культура краснеет. Бесполое

размножение путем десмосхизиса, зооспорами без оболочки (?) и шаровидными апланоспорами. Половое размножение не наблюдалось.

Таким образом, можно заключить, что только применение полифазного подхода, который комбинирует классические ботанические приемы с современными молекулярными методами, позволяет получить объективную и достаточную информацию о видовом разнообразии почвенных зеленых водорослей и уточнить их филогенетические взаимосвязи. Молекулярный анализ, основанный на использовании нескольких генов (18S рДНК и rbcL) увеличивает надежность филогенетических реконструкций, усиливает филогенетическое разрешение и лучше согласуется с морфологическими, физиологическими и экологическими характеристиками зеленых водорослей.

Авторы благодарят д.б.н., профессора, зав. кафедрой ботаники Киевского национального университета им. Т.Шевченко И.Ю. Костикова за консультации. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 13-04-00034-а.

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА РОЛИ ПОЧВЕННОЙ ФАУНЫ В ТРАНСФОРМАЦИИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА И ГУМИФИКАЦИИ В ЛЕСНЫХ ПОЧВАХ

Чертов О.Г.

Бингенский политехнический университет, Германия
chertov@fh-bingen.de

В настоящее время в почвенной зоологии накоплен громадный экспериментальный материал, характеризующий роль различных таксономических, размерных и функциональных групп почвенной фауны в процессах разложения органического вещества (ОВ) почв и мобилизации элементов питания [1, 2, 3, 4 и др]. Известно, что роль почвенной фауны, в первую очередь дождевых червей, в гумусообразовании подчеркивалась уже в XIX веке. На современном этапе проводятся детальное экологические и биологические исследования на организменном и молекулярном уровнях с акцентом на роли животного населения почвы в минерализации ОВ опада, почвы и в питании растений. Выявлена существенная роль почвенной фауны в минерализации азота. Появились имитационные модели, отражающие различные аспекты функционирования различных групп почвенной биоты. В тоже время интерес к почвообразующей деятельности почвенных животных несколько ослаб.

Автором предпринята попытка оценки некоторых параметров гумификации и трансформации ОВ почв фауной на основе анализа собранной литературы (308 статей, около 200 аннотаций; материал доступен по запросу), хотя этого явно недостаточно для полного освещения данной проблемы.

Методика определения функциональной активности микро- и мезофауны [8, 6] позволила вычлнить из опубликованных данных по трофическим сетям (food webs) то, что не привлекало внимания зоологов, а именно массу экскрементов, как основной материал для гумификации (формирования устойчивого ОВ почвы) и мортмассу биоты как пул богатого элементами питания опада. Были обработаны данные 14 сетей [8, 5, 9, 7], результаты изложены ниже.

Сообщество организмов-деструкторов (бактерии, грибы и фауна) трофической сети подгоризонта слабо-разложившейся подстилки (опада, L, O1) составляет 1—3% от

массы горизонта по углероду. Более 90% представлено микроорганизмами в различном соотношении грибов и бактерий в зависимости от качества материала, а в фауне потребителей микроорганизмов (microbial grazers) доминируют простейшие (Protozoa, в основном амебы), составляющие 3—7 % от общей массы трофической сети при ничтожном количестве нематод и микроскопических членистоногих (Microarthropoda). Поэтому редуцирована и доля хищных групп почвенной фауны. Соответственно, вклад фауны в формирование исходных продуктов гумификации невелик и составляет сотые доли процента от массы горизонта в год. Так, при запасе неразложившегося опада 1 т/га масса экскрементов составит 2—4, а мортмасса биоты 12—21 кг/га в год, но при C:N 6—8.

Иначе выглядит сообщество организмов-деструкторов основной части лесной подстилки – подгоризонтов F/O2 и H/O3. Его масса колеблется от 0.5 до 2.5% от пула углерода подстилки, при этом от 80 до 90% представлено грибами и бактериями. В составе потребителей микроорганизмов преобладают простейшие и микроскопические членистоногие (Acari, Collembola) с заметным участием нематод. В совокупности все они составляют от 3 до 10% биомассы трофической сети. Заметное участие принимают и мелкие представители дождевых червей — энхитреиды (до 2% массы сети). Хищные группы пищевой сети (в основном клещи) не превышают по массе 2%. Роль этого сообщества в формировании исходных продуктов гумусообразования и устойчивых форм органического вещества оказалась весьма существенной. Масса экскрементов колеблется от 180 до 570, а мортмасса всей биоты от 230 до 580 кг С/га в год в подстилках с запасом 22—38 т С/га. Так, при массе годового опада 3 т ОВ указанные величины этих статей круговорота составят от 12 до 38% по исходным продуктам гумификации и от 19 до 39% по мортмассе биоты — все они также богаты азотом. Максимальные величины характерны для подстилок с низкими величинами C:N.

В гумусовых и гумусово-эллювиальных горизонтах почв масса биоты трофических сетей колеблется вокруг одного процента от пула углерода ОВ, будучи выше в почвах с низким C:N и заметно ниже при высоком. Состав трофической сети по количеству групп такой же как и в подстилке, но в ряду «microbial grazers» доминируют членистоногие (Microarthropoda: Acari, Collembola) при заметном участии простейших, энхитреид и нематод. Масса потребителей микроорганизмов колеблется от 2.5 до 4.5% от массы всей биоты (по углероду). Группы хищников по массе не отличаются от таковых в подстилке. В гумусовых горизонтах с запасом 22—27 т С/га и C:N 15—20 производится экскрементов 100—160, а мортмассы 230—580 кг С/га в год. Эти величины заметно ниже в горизонтах с запасом 40 – 60 т С/га и C:N 22—27; 80—90 и 90—140 кг С/га в год соответственно.

Материалы по структуре трофических сетей позволили также составить типичные «портреты» бактериального и микологического «энергетических каналов» переработки ОВ фауной для рассмотренных выше горизонтов O1(L), O2+3(F+H) и A1,A1E(Ah,AhE). За пределами методологии трофических сетей остается мезофауна членистоногих и макрофауна (в основном дождевые черви). Мезофауна членистоногих (Meso- и Macroarthropoda) диспергируют подстилку и значительно усиливают минерализацию ОВ и азота, относясь к «преобразователям опада» (litter transformer). Однако все еще неясна их роль в гумусообразовании.

Поверхностно-обитающие, почвенно-подстилочные и норные дождевые черви (epigeic, anecic и endogeic в западной литературе) рассматриваются как «экосистемные инженеры» (ecosystem engineers) чем подчеркивается их ведущая роль в преобразовании физических свойств почвы. В кишечнике и свежих копролитах дождевых червей

минерализация С и N заметно выше, чем в окружающей почве (соответственно выше NH_4 , NO_3 , N_2 , NO_x), тем не менее в свежих копролитах углерода и азота оказывается в 1.5-3 раза больше, а в старых вдвое по сравнению с исходной почвой. По разрозненным данным в среднем количество потребляемого ОВ типичными лесными видами составляет 0.13 ± 0.09 (n = 12), а со свежими копролитами поступает 0.39 ± 0.28 г ОВ на г сухого веса червей в день (n = 19). Высокое варьирование средних определяется исходным содержанием ОВ почвы, влиянием температуры, влажности, качества опада и видовыми предпочтениями - эти данные имеются. При соотношении почва:опад при заглатывании 10-15 [10] и допущении, что в свежих копролитах минерализуется 25% опада, рассчитанные значения возрастания ОВ в почве совпадают с указанным выше удвоением запасов ОВ в копролитах. Однако остается неясным механизм быстрой гумификации остаточного опада в копролитах с закреплением ОВ.

Приведенные данные показывают наличие большого количества нерешенных проблем в данной области. В частности, в методологии трофических сетей реализована сомнительная идея устойчивого состояния биоты в годичном цикле — без поступления опада. Кроме того, представление о том, что норные виды дождевых червей потребляют только гумус не соответствует действительности, поскольку корневой опад в лесных и травяных экосистемах значительно выше наземного. Поэтому норные виды находятся даже в более благоприятных условиях по питанию, чем почвенно-подстилочные. В целом, исследование роли почвенной фауны в формировании ОВ почвы является практически неразработанной проблемой, имеющей важное теоретическое и практическое значение для выяснения механизмов секвестрации углерода в почве и функционирования экосистем.

Литература

1. Бызов Б.А. Зоомикробные взаимодействия в почве. М., Наука. 2005.
2. Покаржевский А.Д., Гонгальский К.Б., Зайцев А.С., Савин Ф.А. Пространственная экология почвенных животных. М., КМК. 2007.
3. Стриганова Б.Р. Питание почвенных сапрофагов. М., Наука. 1980.
4. Bohlen P.J., Edwards C.A. (2008) *Biology and Ecology of Earthworms*. Springer.
5. Carillo D. Y. (2007) PhD Diss. Uni. Georgia. Athens, Georgia. 185 p.
6. De Ruiter P. C., J. C. Moore K. B. Zwart et al. (1993) // *J. Appl. Ecol.* v. 30, 95-106.
7. Holtkamp R., van der Wal A., Kardol P. et al. (2011) // *Soil Biol. Biochem.* v. 43, 251-260.
8. Hunt H.W., Coleman D.C., Ingham E.R. et al. (1987) // *Biol. Fertil. Soils* v. 3, 57-68.
9. Schroeter D. (2001) PhD Thesis, Dept. Animal Ecol., Uni. Giessen. 137 p.
10. Tiunov A.V., Scheu S. (2000) // *Soil. Biol. Biochem.* v. 32, 265-275.

НАСЕЛЕНИЕ ДОЖДЕВЫХ ЧЕРВЕЙ СТАРОВЗРАСТНЫХ И МОЛОДЫХ ЛЕСОВ ЗАПОВЕДНИКА «КАЛУЖСКИЕ ЗАСЕКИ»

Шашков М.П.
ИФХиБПП РАН, Пущино
Max.carabus@gmail.com

С начала 1990-х годов в Центральном районе Европейской части России из сельскохозяйственного использования было выведено более 20 млн. га земель. В настоящее время на значительной части этих территорий происходит естественное лесовосстановление [1].

Цель исследования: охарактеризовать население и сезонную динамику численности, биомассы и онтогенетической структуры дождевых червей в молодых лесах на месте бывших сельхозугодий в сравнении со старовозрастными широколиственными лесами.

Для сбора полевого материала были выбраны пять лесных участков, три из них в старовозрастных широколиственных лесах и два в 30-летнем березняке. Старовозрастные леса представляют собой посадки дуба второй половины XVIII века с сопутствующими древесными видами (*Fraxinus excelsior* L., *Ulmus glabra* Huds., *Tilia cordata* Mill., *Acer campestre* L. и *Acer platanoides* L.) в древостое и теми же самыми видами в подросте (кроме дуба) и неморальным широколиственным в напочвенном покрове. Два участка широколиственного леса произрастают на темногумусовых почвах, один на дерново-подзолистой. Молодые леса (бывшие внутрিলесные поляны) представляют собой березняки с подростом из всех широколиственных видов деревьев старовозрастного леса, почвы под ними дерново-подзолистые (с пахотным горизонтом). Один из них вырос на месте пашни, второй березняк на месте луга, использовавшегося под пастбище.

Сбор материала проводился в 2012 году стандартным методом разбора восьми почвенных монолитов 25x25x35 см на каждой пробной площади три раза за сезон (май, июнь и сентябрь). Всего было разобрано 112 монолитов и учтено 3876 экземпляров относящихся в 7 видам: *Dendrobaena octaedra*, *Lumbricus rubellus*, *L. terrestris*, *L. castaneus*, *Aporrectodea caliginosa*, *A. rosea*, *Octolasion lacteum*. Из фауны данного региона [6] не были найдены мелкий подстилочный червь *Dendrobaena octaedra* и редкий *Eisenia nordenskioldi*. Также определялось онтогенетическое состояние каждого экземпляра и биомасса. Полученные данные были обработаны с применением однофакторного дисперсионного анализа при помощи открытого статистического пакета R.2.14.2 [3].

Численность червей составила от 32—74 экз./м² (березняк по пашне) до 582—748 экз./м² (березняк по лугу), в старовозрастных лесах численность находилась в диапазоне 240—556 экз./м² (на темногумусовых участках не менее 310 экз./м²). Данные по биомассе показали сходную картину с минимумом в березняке по пашне — 4.4—13.5 г/м² и максимумом в березняке по лугу — 97.3—135.9 г/м², в широколиственных — 36.2—94.2 г/м² (для темногумусовой не менее 61.3 г/м²).

Наиболее массовыми видами оказались *Aporrectodea caliginosa* (до 274 экз./м²) и *A. rosea* (до 520 экз./м²), их представители встречались во всех сборах в количестве, достаточном для статистического анализа. Так как на обследованных участках численность и биомасса в течение сезона изменялись практически синхронно, статистический анализ проводился по показателям биомассы этих двух внутрипочвенных видов.

Средняя биомасса экземпляра для взрослых и ювенильных *A. rosea* в березняке на месте луга в большинстве случаев значимо больше, чем на других участках, а масса червей этого вида на участке широколиственного леса на дерново-подзолистой почве ниже, чем на других участках, хотя эта разница не всегда значима.

Таким образом, наиболее продуктивное население (по численности, биомассе и средней массе индивида) дождевых червей наблюдалось в почве березняка на месте бывшего пастбища, наименьшее по обилию население зафиксировано также на бывших сельскохозяйственных землях, но на месте бывшей пашни. Несмотря на то, что по данным других исследователей [2, 4] восстановление населения дождевых червей на бывших сельскохозяйственных землях начинается с первых лет залежи, в данном случае популяция дождевых червей в лесу по бывшей пашне находится в глубокой депрессии, несмотря на то, что с прекращения сельскохозяйственной деятельности прошло более 20 лет.

Критическим периодом для популяций дождевых червей является перезимовка, в процессе которой неизбежно гибнет часть популяции [5], поэтому для поддержания своего существования популяции в течение сезона необходимо восстанавливать свою численность и биомассу. В данном исследовании значимого роста биомассы массовых видов в течение сезона не наблюдается, более того, на одном участке широколиственного леса на темногумусовой почве суммарная биомасса половозрелых особей вида *Aporrectodea rosea* значимо снижается к сентябрю, по сравнению с маем. На другом темногумусовом участке биомасса данного вида снижается (не значимо) к сентябрю за счет ювенильных особей. Отсутствие устойчивого воспроизведения популяции дождевых червей в течение сезона свидетельствует либо о нарушении возрастной структуры популяции (например, в результате суровой зимы 2011/12 года) либо о наличии многолетних циклов в динамике населения. В обоих случаях одного сезона недостаточно для выполнения поставленной цели и исследование в данном направлении необходимо продолжать.

Литература

1. Люри Д.И. и др. Динамика сельскохозяйственных земель России в XX веке и постагрогенное восстановление растительности и почв. М.:ГЕОС, 2010 - 416 с.
2. Pizl V. Succession of earthworm population in abandoned fields // Soil Biol. Biochem. Vol. 24, No 12, 1992, pp. 1623-1628.
3. R Development Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>, 2012.
4. Гераськина А.П. Население дождевых червей (Lumbricidae) на зарастающих полях // Зоологический журнал, 2009, т. 88, вып. 8, с. 901-906.
5. Мещерякова Е.Н. Устойчивость дождевых червей (Oligochaeta, Lumbricidae, Moniligastridae) к отрицательным температурам. Автореф. дисс. канд. биол. наук, –СПб, 2011, 18 с.
6. Шашков М.П. Фауна дождевых червей (Lumbricidae) заповедника «Калужские засеки» // Труды государственного природного заповедника «Калужские засеки». Вып. 1. – Калуга: Изд-во «Полиграф-информ», 2003, с. 90-93

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант 12-04-01734-а.

**СЕКЦИЯ 4. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ ЛЕСНЫХ ПОЧВ
И БИОРАЗНООБРАЗИЕ ЛЕСОВ**

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛЕСНЫХ ПОЧВ ДЛЯ ИХ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ

Ананьева Н.Д., Гавриленко Е. Г.
ИФХиБПП РАН, Пущино
ananyeva@rambler.ru

Почвы лесов выполняют не только производственные, но экологические функции, среди которых важными являются сохранение биоразнообразия, образование кислорода, поглощение углекислого газа, поддержание климата и микроклимата, защита от эрозии и инактивация токсикантов. Государственная кадастровая оценка земель принимает во внимание только производственную стоимость земель лесного фонда, что подразумевает доход от них (древесина). При этом экологическая значимость лесов, а также лесных почв, в том числе и их биологическое качество, для оценки стоимости земель лесного фонда не учитывается.

Функционирование почвы обусловлено в значительной степени деятельностью микробного сообщества. Микробиологические показатели почвы часто используют, особенно за рубежом, как индикатор ее качества и важный элемент мониторинговых и экологических исследований.

В нашей стране почву оценивают в основном на основе ее физико-химических показателей. Известен подход для расчета почвенно-экологического индекса (ПЭИ), величина которого, в свою очередь, может быть одной из составляющей цены почвы (кадастровая стоимость земель). Однако биологические, в том числе микробиологические, свойства почвы для их оценки, качества и экологической ценности, почти не используются.

Работа была сфокусирована на изучении основных микробиологических показателей почвы лесов с целью их использования для эколого-экономической оценки земель лесного фонда.

Объектами исследования были почвы (дерново-подзолистая, дерново-глеявая, болотно-подзолистая, серая лесная) разных лесов (лиственный, смешанный, еловый, сосновый) Подольского и Серпуховского р-нов Московской обл. Почвенные образцы (всего 151) отбирали из верхнего 10 см минерального слоя без растительной подстилки в сентябре-октябре. Смешанные образцы (метод «конверта», 10×10 м) каждой точки отбора просеивали через сито (2 мм) и хранили (10°C) до анализа не более 2-х месяцев. В образцах определяли содержание органического углерода почвы ($C_{\text{орг}}$), P_2O_5 , K_2O и гранулометрический состав, которые легли в основу расчета значения ПЭИ. Содержание углерода микробной биомассы почвы ($C_{\text{мик}}$) определяли методом субстрат-индуцированного дыхания, измеряли скорость базального (микробного) дыхания (БД), рассчитывали их отношение $БД/C_{\text{мик}} = q_{CO_2}$ и долю $C_{\text{мик}}$ в $C_{\text{орг}}$. Определение $C_{\text{мик}}$ и БД выполнено в 4-х повторностях, навески отбирали из предварительно инкубированных образцов почвы (масса около 300 г, воздухообмен, 7 сут, 22°C, 60% полной влагоемкости). Содержание $C_{\text{орг}}$ почвы лесов составило 0.4—3.2%, pH — 3.7—5.1, P_2O_5 и K_2O — 0—4.6 и 2.4—12.5 мг 100 г⁻¹ соответственно, текстура — от песчаной до среднесуглинистой. Содержание $C_{\text{мик}}$ и скорость БД в изученных почвах варьировало широко (58—1394, среднее 548 мкг С г⁻¹ и 0.2—3.2, среднее 1.0 мкг CO₂-С г⁻¹ ч⁻¹), различие составило 24 и 17 раз соответственно. Наименьшие и наибольшие «интегральные» показатели q_{CO_2} и $C_{\text{мик}}/C_{\text{орг}}$ также различались существенно, в 20 и 53 раза (0.3—6.5 мкг-CO₂С мг⁻¹ C_{мик} ч⁻¹ и 0.2—10.6% соответственно).

В болотно-подзолистой и серой лесной почвах разных лесов величины $C_{\text{мик}}$ в среднем значимо ($p \leq 0.05$, тест Дункана) не различались (702 ± 111 и 949 ± 78 мкг С г⁻¹, $n = 4$ и 15 соответственно), а в дерново-подзолистой почве — в среднем меньше (почти в 2 раза), чем в дерново-глеевой (479 ± 24 и 1103 ± 141 мкг С г⁻¹, $n = 128$ и 4 соответственно). Кроме того, в дерново-глеевой почве показатель q_{CO_2} был в среднем почти в 2 раза меньше, чем в дерново-подзолистой (1.1 ± 0.3 и 2.4 ± 0.1 мкг $\text{CO}_2\text{-C}$ мг⁻¹ $C_{\text{мик}}$ ч⁻¹ соответственно). Отношение $C_{\text{мик}}/C_{\text{орг}}$ было в среднем значимо больше в серой лесной почве, чем, например, в дерново-подзолистой (3.6 ± 0.3 и $1.8 \pm 0.1\%$, $n = 15$ и 128 соответственно).

Показано, что дисперсия величин $C_{\text{мик}}$ и БД почвы лесов (ANOVA) существенно зависела от доминирующей древесной растительности (вклад 58 и 62% соответственно), а влияние фактора «почва» — было не значимым.

Содержание $C_{\text{мик}}$ и скорость БД в почве соснового, елового, смешанного и лиственного лесов составило в среднем 199 ± 28 , 514 ± 61 , 541 ± 48 и 665 ± 8 мкг С г⁻¹ и 0.6 ± 0 , 1.1 ± 0.1 , 1.1 ± 0.1 и 1.0 ± 0 мкг $\text{CO}_2\text{-C}$ г⁻¹ ч⁻¹, $n = 21$, 23, 36 и 71 соответственно, указывая на значимо меньшие показатели в сосняках. В сосняках отмечен и меньший показатель $C_{\text{мик}}/C_{\text{орг}}$ ($0.7 \pm 0.1\%$) по сравнению с лиственными, еловыми и смешанными лесами (2.4 ± 0.1 , 2.2 ± 0.4 и $1.8 \pm 0.2\%$ соответственно). Показатель q_{CO_2} в почве сосновых лесов был в среднем почти в 2 раза выше, чем лиственных (3.5 ± 0.3 и 1.7 ± 0.1 соответственно), а в смешанных и еловых — значимо не различался (2.3 ± 0.2 и 2.5 ± 0.2 мкг $\text{CO}_2\text{-C}$ мг⁻¹ $C_{\text{мик}}$ ч⁻¹ соответственно). Это может свидетельствовать о «хрупком» функционировании микробного компонента в почве сосняков.

Для почв лесов изученных районов выявлена тесная зависимость между ПЭИ и показателями ($C_{\text{мик}}$ и $C_{\text{мик}}/C_{\text{орг}}$), которая аппроксимируется уравнениями с удовлетворительными коэффициентами детерминации (0.57 и 0.66 соответственно). Значение ПЭИ почвы лесов варьировало в широком интервале (28—82 балла, среднее 54). Показано, что значимо меньшие баллы ПЭИ были при доминировании сосны (36 ± 2), а большие — лиственных деревьев (60 ± 1). Ранее нами показано, что ПЭИ почвы пашен и залежи изученных районов были в среднем больше (73 и 70 баллов соответственно), чем лесов. К тому же, содержание $C_{\text{мик}}$ и скорость БД почвы залежи и пашен были, напротив, в среднем меньше (319 и 152 мкг С г⁻¹, 0.5 и 0.2 мкг $\text{CO}_2\text{-C}$ г⁻¹ ч⁻¹ соответственно), чем лесов. Поэтому есть основание полагать, что оценка почвы лесов на основе ПЭИ будет заниженной, а, учитывая их экологическую значимость, мало приемлемой. Мы полагаем, что при оценке качества почвы лесов и для определения их кадастровой стоимости, помимо их физико-химических свойств, следует учитывать и биологические (например, содержание $C_{\text{мик}}$), которые влияют на выполнение почвой экологических функций в наземных экосистемах.

На основании экспериментальных результатов считаем, что для сравнительной оценки качества почв разных экосистем (локализация в сходных климатических условиях) по величине ПЭИ следует ввести поправочный «биологический» коэффициент (КБ), основанный на $C_{\text{мик}}$. Так, если для среднего содержания $C_{\text{мик}}$ почвы лесов КБ равен единице, то для залежи и пашни соответствующей изученной территории он составит 0.58 и 0.28 соответственно. Отсюда в среднем баллы ПЭИ залежи и пашни с учетом КБ будут меньше, чем леса, а именно 41 (70×0.58) и 20 (73×0.28) соответственно.

Таким образом, для экономической оценки почв разных экосистем территории одной климатической зоны следует использовать баллы ПЭИ, скорректированные на содержание почвенного микробного компонента. Такой подход позволит учесть в цене почвы (кадастровая оценка), в том числе и лесов, не только ее физико-химические, но и биологические свойства, определяющие экологическую значимость.

БИОЛОГИЧЕСКИЙ КРУГОВОРОТ УГЛЕРОДА, АЗОТА И ЗОЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В СОСНОВЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРО-ВОСТОКА

Бобкова К.С.

ИБ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар

bobkova@ib.komisc.ru

Равнинный характер основной части рельефа европейского Северо-Востока обуславливает широтную зональность растительного покрова, которая нарушается только на востоке западными склонами Уральских гор. Сосновые экосистемы в этом регионе занимают примерно четвертую часть лесопокрытой площади и формируют как чистые, так и смешанные по составу, разной возрастной структуры древостои.

Углерод. Фитоценозы сосновых экосистем характеризуются невысокими темпами накопления углерода органического вещества. В спелых и перестойных экосистемах сосняков европейского Северо-Востока аккумуляция углерода в зависимости от типа леса составляет 90—190 т·га⁻¹, из них 35—74% концентрируется в почве. 30-летние северотаежные сосняки в зависимости от условий произрастания ежегодно продуцируют от 1.5 до 2.8, спелые — от 2.3-3.6 т·га⁻¹ углерода. В среднетаежных сосняках ежегодно депонируется 2.5—4.2 т·С·га⁻¹. С опадом на поверхность почвы в молодняках поступает 0.7—1.4, в средневозрастных и спелых 1.7—2.7 т С·га⁻¹ в год. Скорость деструкции отдельных компонентов опада в разные годы различна и зависит от климатических условий вегетационного периода. В хвойных сообществах северной тайги за год разлагается менее 26, средней — менее 34 % массы поступившего опада. Несмотря на то, что в обменных процессах северотаежных и заболоченных сосновых сообществ значительную роль выполняют растения нижних ярусов фитоценоза, чистую продукцию фитомассы (углерода) формируют древостои. В суходольных типах сосняков величина продукции выше, чем в заболоченных. В продукционном процессе ценозов ведущую роль выполняют почвенно-экологические факторы. На фоне недостатка тепла в лишайниковых типах сообществ определяющими являются условия трофности, сфагновых – аэрации. Сосняки на автоморфных почвах характеризуются относительно благоприятным режимом трофности и увлажнения. Они отличаются более высокими показателями биопродукции.

Азот и зольные элементы. Содержание элементов минерального питания в биомассе средневозрастных и спелых сосняков в северной тайге составляет 590-1300 кг·га⁻¹, средней — 716—1231. Ряд накопления их следующий N>Ca>K>Mg>P>Si>Mn>Al>Fe>Na. Характерной особенностью биологического круговорота сосняков региона является значительное накопление минеральных элементов в мертвой органической массе, особенно в органогенном горизонте. В лесной подстилке накапливаются значительные запасы органического вещества. Так, в зависимости от типа леса запасы подстилки изменяются в основном от 7 до 75 и достигают 150 т·га⁻¹. В более производительных сосняках черничных запасы органического вещества в лесной подстилке составляют 20—24% от общей массы живых растений. В фитоценозах долгомошной группы типов леса в подстилке сосредоточено 50—64% общего запаса фитомасса растений. В сфагновых сосняках запасы органической массы подстилок значительно превышают массу органического вещества фитоценозов.

Интенсивность биологического круговорота или количество минеральных элементов в формирующейся годичной продукции фитоценозов в сосновых биогеоценозах составляет 110—160 кг·га⁻¹. Для годичной продукции большинства типов сосновых лесов характерен азотно-калиевый режим потребления. Ряд накопления элементов питания в продукции сосняков следующий: N>K>Ca>Mg>P>Si>Mn>Al>Na>Fe. Возврат минеральных элементов с растительным опадом в сосняках разных типов составляет 56—73% потребляемого их количества на продукцию фитомассы. Ряд распределения элементов в опаде следующий: N>Ca>K>Mg>Si>P>Mn>Al>Na>Fe. Интенсивность выщелачивания минеральных элементов согласуется со скоростью разложения. Количество минеральных элементов, закрепленных в истинном приросте сосновых биогеоценозов, составляет 28—70 кг·га⁻¹. Наиболее сильно удерживается N и K, количество которых на порядок превышает содержание других элементов. Менее всего в нетто-продукции удерживается Na, Al, Fe. Годичный цикл круговорота элементов минерального питания по существу определяется зелеными фракциями фитомассы, так как через листву и хвою, составляющих большую часть прироста и опада, осуществляется обмен азотом и зольными элементами в системе растение-почва. Круговорот веществ в этой системе в условиях Севера таежной зоны совершается главным образом в органогенном горизонте, где концентрируется основная часть (более 80 %) физиологически активных корней.

Таким образом, обмен углерода, элементов минерального питания между почвой и растительностью в сосняках европейского Северо-Востока ограничен в основном биологическим ярусом (фитоценозо-подстилка). В сосняках данного региона весьма значительны запасы лесной подстилки и химических элементов в ней, что создает гарантии устойчивости функционирования сосновых коcosystem в условиях Севера.

ИНОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД К ВОСТАНОВЛЕНИЮ ПРИГОРОДНЫХ ЛЕСОВ РОССИИ

Болотов Н.А., Щеглов Д.И., Беляев А.Б
ФГБОУ ВПО «ВГУ», Воронеж
dpoch@mail.ru

Основой улучшения генофонда наших лесов является не селекция местных лесообразователей (бореальных видов четвертичного периода), а введение экзотических, давно уже интродуцированных в РФ, третичных лесообразующих видов. Важным условием широкого использования экзотов является то, что многие виды произрастают в различных природных зонах Русской равнины на почвах, разных по своему генезису, степени выраженности почвообразовательного процесса и уровню плодородия: песчаных слабо-, среднегумусированных, дерновых, дерново-подзолистых, бурых лесных, серых лесных почвах, выщелоченных, типичных и обыкновенных черноземах. Имеющийся полевой и лабораторный материал, проанализированный методами статистического и информационно-логического анализов (Пузаченко, Карпачевский, Взнуздаев, 1969; Дмитриев, 1972) позволяет для каждой перспективной интродуцированной древесной породы и конкретных почвенно-климатических условий составить информационно-логическую модель оптимального роста и максимальной продуктивности на уровне I—II класса бонитета.

Практика создания однотипных по вариантам чистых хвойных насаждений с примитивными «защитными» противопожарными кулисами из березы не эффективна, а стереотипные лесокультурные методы создания насаждений вокруг населенных пунктов в современных условиях неприемлемы.

В связи с насущной необходимостью восстановления пригородных лесов РФ (на площади более 1 миллиона гектаров) мы предлагаем систему комплексных лесоводственных интродукционных мероприятий, обеспечивающих создание многообразных, устойчивых и высокопродуктивных лесных культур при минимальных затратах. Она основывается на многолетнем исследовании 250-летнего интродукционного лесоводственного опыта (в пределах территории бывшего СССР), который показывает следующие основные преимущества лесных культур экзотов в сравнении с местными лесообразователями:

1. Многократное флористическое преимущество;
2. Преимущество в ходе роста (продуктивности) в зависимости от разработанного лесоинтродукционного районирования;
3. Более высокая устойчивость экзотов к промышленной загазованности;
4. Большая устойчивость (толерантность) к смешению в культуре, как между собой, так и с местными лесообразующими породами.

Совершенно очевидно, что пригородные лесопарковые зоны должны состоять из естественных или лесокультурных насаждений смешенного состава. При этом флористическое разнообразие лесов, само по себе чрезвычайно благоприятное явление в ландшафтной архитектуре пригородных лесопарков, оказывается эффективным средством противопожарной защиты и лесов и населенных пунктов. Важными моментами флористического разнообразия лесокультурных насаждений являются аллелопатические аспекты взаимовлияния различных пород друг на друга и газоустойчивость экзотов в сравнении с местными видами, что немаловажно для создания устойчивых озеленительных насаждений в городской и пригородной черте.

Сравнительная толерантность местных и экзотических лесообразователей видна из следующего соотношения. Из 369 исследованных вариантов различных смешений интродуцентов с интродуцированными или местными породами в 217 случаях или 59% наблюдается индифферентное, слабо ингибирующее и стимулирующее значение взаимоотношений. В тоже время, при анализе смешения в культуре местных пород друг с другом из 63 вариантов аналогичное взаимоотношение проявляется только в 9 вариантах или в 13% всех случаев смешения, и, наоборот, в 87% случаев преобладают ингибирующие, резко антагонистические взаимоотношения.

Это обстоятельство можно, видимо, объяснить тем, что экзоты — это виды более филогенетически древние, произраставшие в более благоприятных климатических условиях. В процессе своего филогенеза они приспособились к большему разнообразию насаждений в сравнении с молодыми бореальными местными видами, специфически приспособленными к произрастанию в чистых насаждениях или с подавляющим доминированием одного лесообразователя.

Отдельно следует сказать про газоустойчивость экзотов в сравнении с местными видами. Особенно это относится к хвойным вечнозеленым видам, которых в местной флоре центральной России явно не хватает. В наших исследованиях мы использовали данные некоторых авторов (Антипов, 1979) по сравнительной полевой газоустойчивости древесных видов при длительном произрастании вблизи различных

промышленных предприятий. При анализе использовалась визуальная пятибалльная оценка по степени повреждения. Исследования показали, что местные виды ели и сосны оказываются наименее газоустойчивыми. Что касается родового комплекса лиственницы, то все виды ее показывают себя одними из самых газоустойчивых среди хвойных. Относительно дуба черешчатого более газоустойчивыми оказываются виды: дуб красный, дуб болотный, дуб белый, дуб скальный, дуб монгольский; остальные экзотические виды дуба, по крайней мере, не уступают местному эталону по газоустойчивости. Березы, в целом, являются малоустойчивыми и лишь относительно устойчива из них береза плакучая — местный вид. В родовом комплексе клена большинство интродуцентов проявляют себя относительно газоустойчивыми, также как и клен остролистный (местная экологически замещаемая порода). Наиболее устойчивыми являются виды: клен красный, клен серебристый, клен ясенелистный. Виды родового комплекса ореха и карии также оказываются относительно газоустойчивыми. В целом, по далеко не полным данным, число сравнительно газоустойчивых видов интродуцентов превышает в несколько десятков раз число местных, обычно менее газоустойчивых, лесообразующих пород, что показывает большие возможности в использовании экзотов при создании защитных зеленых зон вокруг крупных промышленных центров.

С нашей точки зрения современная стратегия преимущественного создания лесных культур из интродуцентов, совершенно очевидна, и является инновационной. Семенной базой для лесных культур экзотов в оптимальном варианте могут служить маточники интродуцентов, произрастающие на территории РФ в 11 областях и республиках (от Калининграда до Волги), обеспечивающих 70% всей потребности в семенах. Это касается наиболее испытанных видов экзотов. Дополнительным источником семенного материала могут стать насаждения экзотов Украины и Беларуси. Для получения качественного посадочного материала следует использовать технологию выращивания в контейнерах с закрытой корневой системой в условиях теплицы. Это ускоряет сроки выращивания саженцев на 1—3 года, улучшает их качество, повышает сохранность и позволяет проводить лесокультурные работы в любое время вегетационного периода.

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ БИОГЕОЦЕНОЗОВ ИСТОРИЧЕСКИХ ПАРКОВЫХ ТЕРРИТОРИЙ В СОХРАНЕНИИ ПРИРОДНОГО БИОРАЗНООБРАЗИЯ

Ильяшенко М.А., Владыченский А.С.†, Семенюк О.В.

МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва

ilyashenko-marya@yandex.ru

В настоящее время актуален вопрос изучения исторических садово-парковых комплексов. Особенность и значимость этих объектов обуславливается тем, что с одной стороны, они являются памятниками истории и архитектуры, а с другой стороны, они включают в себя окружающие их ландшафты, образуя особое экологическое пространство (Владыченский, Семенюк, 2011). В современном урбанизированном мире значение исторических парковых комплексов неуклонно возрастает, что связано с расширением их социальных и экологических функций. На фоне неуклонного роста негативного антропогенного влияния на природу исторические парки приобретают несвойственные для них ранее, новые и очень важные экологические функции: оптимизация экологических условий, природоохранные функции, эколого-просветительские и образовательные функции, глобальные экологические функции.

Исследования проводились в пейзажной части парка подмосковной усадьбы «Архангельское», который является объектом садово-парковой архитектуры XVIII века. Были исследованы наименее затронутые антропогенным вмешательством биогеоценозы, представленные разновозрастными насаждениями: сосново-липовым, липово-сосновым и елово-липовым. Исследования включали комплексное изучение растительного покрова, подстилок и почв.

При исследовании растительного покрова было выявлено, что по мере увеличения возраста фитоценозов происходит увеличение разнообразия видового состава, усложнение объемно-пространственной структуры за счёт разрастания подроста и подлеска, изменения объема кроны, выпадения старых деревьев, что приводит к усложнению напочвенного покрова и увеличению варьирования почвенных свойств. Несмотря на это, по структуре и составу насаждения пейзажной части парка музея-усадьбы «Архангельское» соответствуют природным сообществам, что позволяет рассматривать их в качестве носителей естественного биоразнообразия и определяет необходимость их сохранения.

Изучение подстилок показало, что в среднем запасы подстилок составляют около 9—13.8 т/га для деструктивных подстилок, максимальные запасы до 18 т/га отмечены для ферментативных подстилок елово-липового массива и мертвopoкpовных участков сосново-липового массива. Полученные нами данные соответствуют литературным данным, где для хвойных лесов отмечены наибольшие запасы подстилок (Карпачевский, 2005). Подстилки пейзажной части парка соответствуют природным аналогам по запасам, структуре и по фракционному составу.

Анализ верхних горизонтов почв показал, что значения плотности колеблется в пределах от 0.8 до 1.2 г/см³, что сопоставимо с плотностью естественных почв (Медведев, 2011). Коэффициенты структурности изученных парковых почв соответствуют градации «хорошая», содержание агрономически ценных агрегатов колеблется в пределах от 61 до 76%, что сближает их с естественными дерново-подзолистыми почвами. Водостойчивость почв под старовозрастными насаждениями оценивается как хорошая, содержание

агрегатов >0.25 мм колеблется в пределах от 58 до 63%, что аналогично свойствам естественных дерново-подзолистых почв (Кузнецова, Бондарев, Данилова, 2000).

Изучение почвенной кислотности показало, что постаграрные дерново-подзолистые почвы паркового массива, характеризуются как кислые (рН от 4 до 5), что соответствует природным дерново-подзолистым почвам (Шамрикова, Казаков, Соколова, 2011). Изученные почвы характеризуются высоким содержанием углерода и азота, что, согласно литературным данным, сближает данные почвы с естественными дерново-подзолистыми почвами. В среднем содержится 2—3.2% углерода и 0.15—0.25% азота, причем минимальными значениями характеризуется липово-сосновый массив, что коррелирует с его относительно пониженным базальным и субстрат-индуцированным дыханием. В целом, постаграрные почвы пейзажной части парка по значениям базального дыхания на уровне 2.2—3.2 мкг CO₂-C/г почвы в час соответствуют литературным данным, полученным для естественных дерново-подзолистых почв. По величине субстрат-индуцированного дыхания 8.6—11.8 мкг CO₂-C/г почвы в час и по содержанию C_{мик} 190—260 мкг CO₂-C/г почвы в час, данные почвы также соответствуют естественным аналогам (Ананьева, 2009).

Эмиссия CO₂ из постаграрных дерново-подзолистых почв пейзажной части парка не превышает 200 мг CO₂/м² час и, в целом, соответствует эмиссии CO₂ из пахотных дерново-подзолистых почв, но несколько ниже величины эмиссии из естественных лесных почв (Смагин, 2005).

Комплексное исследование парковых биогеоценозов, показало, что по растительному покрову, подстилкам, свойствам и функционированию почв они не отличаются от природных аналогов и являются резерватами для сохранения природного биоразнообразия, что особенно актуально в условиях крупных городов. Парковые биогеоценозы могут рассматриваться в качестве условно эталонных сообществ на локальном, региональном и глобальном уровнях, что обуславливает необходимость сохранения и дальнейшего изучения исторических парков в качестве условного фона для оценки экологического состояния окружающей его урбанизированной среды. Изучение таких объектов необходимо при организации деятельности по экологическому просвещению и созданию образовательных экологических центров.

Литература

1. Ананьева Н.Д., Сусьян Е.А., Рыжова И.М., Бочарникова Е.О., Стольникова Е.В. Углерод микробной биомассы и микробное продуцирование двуокиси углерода дерново-подзолистыми почвами постаграрных биогеоценозов и коренных ельников Южной тайги (Костромская область) // Почвоведение. 2009. №9. — с. 1109—1116.
2. Владыченский А.С., Семенюк О.В. Исторические объекты садово-парковой архитектуры и экология пространства // Материалы научно-практической конференции 18 мая 2011 г. Экологические проблемы исторических парков Санкт-Петербурга и окрестностей. 2011. — с. 4—9.
3. Карпачевский Л.О. Экологическое почвоведение. — М.: ГЕОС, 2005.
4. Кузнецова И.В., Бондарев А.Г., Данилова В.И. Устойчивость структурного состояния и сложения почв при уплотнении // Почвоведение. № 9. 2000. — с. 1106—1133
5. Медведев В.В. Физические свойства и характер залегания плужной подошвы в разных типах пахотных почв // Почвоведение. 2011. №12. — с.1487—1495.
6. Смагин А.В. Газовая фаза почв. М.: Изд-во МГУ, 2005. — 301 с.
7. 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. 699—712.

ВЛИЯНИЕ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ НА ЗАПАСЫ УГЛЕРОДА И СВОЙСТВА ПОЧВ В ЗОНАЛЬНОМ РЯДУ ЭКОСИСТЕМ

Каганов В.В.
ЦЭПЛ РАН, Москва
saganss@rambler.ru

Суммарный баланс углерода почвы в любой экосистеме определяется соотношением между объемом поступившего в почву органического вещества и скоростью его минерализации. Почвы природных экосистем, находящихся в климатском (квазиклиматском) состоянии, как правило, имеют нейтральный или слабый положительный углеродный баланс, изменение типа землепользования приводит к существенным сдвигам, как в количестве, так и в качественном состоянии почвенного углерода. Современные работы содержат различные точки зрения по вопросу изменения углеродного состояния почв под влиянием лесной растительности. В виду вывода большого количества земель России из сельскохозяйственного оборота встает вопрос об их дальнейшей судьбе. Одним из способов использования этих территорий является их облесение, как естественное, так и антропогенное, в связи с чем встает вопрос и о влиянии леса на различные типы почв.

В рамках данной работы рассматривается возможность использования лесных насаждений в качестве фактора, оказывающего влияние на структуру почв и на запасы углерода, как в почвах, так и в экосистемах в целом. В качестве объектов были использованы 9 насаждений различного возраста и породного состава, расположенные в меридиональном направлении на Европейской территории России.

В роли объектов сравнения выступали территории, примыкающие к лесным насаждениям, изначально имеющие аналогичные с ними геоморфологические и почвенные условия и отличающиеся от лесных участков лишь типом растительности — сенокосы, многолетние залежи и целинные участки, на которых произрастают травянистые виды. На каждом из объектов проводилась закладка пробных площадей в лесных насаждениях и системы почвенных разрезов с последующим отбором образцов по слоям почвы. Это позволило произвести на ключевых участках учет запасов углерода фитомассы (живой и мертвой) и почвы до глубины 1 м, после чего достоверность различий по полученным величинам средних запасов углерода в слоях почвы во всей совокупности выборки объектов проверялась с помощью парных критериев Стьюдента с уровнем значимости 0.05.

По результатам работы можно сделать выводы, что лесные насаждения в сравнении с травяной растительностью достоверно повышают запасы углерода почвы в слое 0—10 см и снижают в слое 50—100 см, при этом в целом, в метровом слое почвы отсутствуют статистически значимые различия в запасах общего углерода между лесными и безлесными участками.

На черноземных типах почв, содержащих в метровом слое карбонатные соли, под влиянием лесных насаждений отмечается смещение границы залегания карбонатов вниз по профилю почвы.

При рассмотрении суммарных запасов углерода в экосистемах, на всех рассмотренных в работе объектах лесные участки превосходят соответствующие безлесные за счет образования большого объема фитомассы в древостоях. При этом, как

в экосистемных запасах углерода, так и в запасах углерода почвы в метровом слое отмечается нарастание при движении с севера на юг до лесостепной зоны (объект Каменная степь) и снижение этих величин при продвижении от лесостепной к полупустынной зоне (объект Баскунчак). Можно предполагать, что эти изменения связаны с влиянием климатических факторов, а именно — ростом среднегодовой температуры и снижением среднегодового количества осадков.

На основании этого, используя процедуру нелинейного регрессионного анализа по методу наименьших квадратов, были получены статистически значимые регрессионные уравнения для запасов углерода в почве и в экосистеме для лесных и безлесных участков, которые достаточно уверенно воспроизводят общий ход изменения запасов углерода и положение их максимума в условиях Каменной степи.

ЭМИССИЯ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА ПОЧВАМИ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ ЗАПОВЕДНИКА «ПАСВИК» В КОЛЬСКОЙ СУБАРКТИКЕ

Кадулин М.С., Смирнова И.Е., Копцик Г.Н.

МГУ имени М.В. Ломоносова, Факультет Почвоведения, Москва
tubmaxl@mail.ru

Почвы заповедника «Пасвик» являются уникальным объектом, требующим охраны и всестороннего изучения. Специфика данного региона определяется влиянием Гольфстрима в условиях Заполярья: дождливое лето и снежная относительно тёплая зима. Большой интерес к изучению почв заповедника связан с возможностью получения эталонных значений параметров, используемых для выявления и характеристики процессов антропогенного нарушения почвенного покрова (техногенное загрязнение, сельскохозяйственное освоение), а также сопоставления почв ненарушенных экосистем. В этой связи немаловажным фактором является близкое расположение крупного источника атмосферного загрязнения (ГМК «Печенганикель», менее 50 км). Прохождение государственной границы со скандинавскими странами (Финляндией и Норвегией) по территории заповедника определяет особенности работы в данном районе, имеющей существенное значение для престижа страны. Исследование биологической активности почв, в частности, почвенного дыхания, позволяет вести мониторинг состояния лесных экосистем и незаменимо для расчётов потоков углерода в биосфере, для анализа вклада в возможные изменения климата. Поэтому целью нашей работы было изучение эмиссии CO₂ почвами, ее сезонной и суточной динамики в основных типах лесных экосистем заповедника «Пасвик».

Объекты и методы. Исследования проводили в 2011—2012 гг. в типичных лесных экосистемах на территории заповедника «Пасвик» на Кольском полуострове. Объектами исследования служили подзолы иллювиально-гумусовые сосняка беломошного, сосняка кустарничкового и берёзняк кустарничкового, сформировавшихся в автоморфных позициях ландшафта. Эмиссию CO₂ в поле определяли камерным динамическим методом. Для определения дыхания корней использовали полевой метод субстрат-индуцированного дыхания (Евдокимов, 2011; Кадулин, Копцик, 2013). Его суть состоит в определении увеличения дыхания ненарушенной почвы после внесения раствора глюкозы в концентрациях, на порядок ниже концентрации сахаров в корнях, что вызывает

рост дыхания микроорганизмов, но не корней. Зная коэффициент увеличения микробного дыхания, можно рассчитать долю микробного и корневого дыхания в общем потоке CO_2 из почвы.

Результаты и обсуждение. Дыхание почвы *in situ* в сосняке беломошном в летний период не превышает в среднем 100—110 мг С- $\text{CO}_2/\text{м}^2\cdot\text{ч}$. Дыхание почв в сосняке кустарничковом в полтора раза (170 мг С- $\text{CO}_2/\text{м}^2\cdot\text{ч}$), а в березняке кустарничковом вдвое (190 мг С- $\text{CO}_2/\text{м}^2\cdot\text{ч}$) интенсивнее, чем в сосняке беломошном. Это, вероятно, обусловлено повышенной биологической активностью почв кустарничковых типов леса по сравнению с лишайниковыми, с одной стороны, и мелколиственных лесов по сравнению с хвойными, с другой, и хорошо согласуется с результатами определения микробной биомассы.

Интенсивность выделения CO_2 почвами характеризуется выраженной временной динамикой, изменяясь в межгодичном, сезонном и суточном циклах. Скорость эмиссии CO_2 исследованных почв сравнительно холодным и сухим летом 2012 г. в вдвое меньше, чем теплым и влажным летом 2011 г. По всей видимости, это является следствием высоких температур и влажности в июле 2011 г., когда средняя температура воздуха на 2.4°C , а количество осадков на 70 мм превышали таковые 2012 г.

Сезонная динамика эмиссии CO_2 почвами имеет сложный характер в силу зависимости как от микроклиматических условий, так и доступности легкоразлагаемых органических веществ для микроорганизмов. Наибольшая интенсивность выделения CO_2 почвами свойственна преимущественно летнему периоду и проявляется в утренние и вечерние часы. В сосняке кустарничковом максимальная эмиссия CO_2 почвами наблюдалась в сентябре, по-видимому, в связи с поступлением свежего опада как источника легкодоступных органических веществ для микробиоты.

Дыхание почвы *in situ* в сосняке беломошном весной и осенью минимально в утренние часы (50—70 мг С- $\text{CO}_2/\text{м}^2\cdot\text{ч}$), возрастает днём (100 мг С- $\text{CO}_2/\text{м}^2\cdot\text{ч}$) и вновь падает вечером (60—80 мг С- $\text{CO}_2/\text{м}^2\cdot\text{ч}$). В летний период суточная динамика эмиссии CO_2 почвами не выражена, скорее всего, в связи с отсутствием смены дня и ночи в условиях полярного дня.

Доля корневого дыхания в сосняке беломошном в течение суток максимальна весной и осенью (40—85%), и минимальна летом (5—60%), что свидетельствует о повышенной активности микроорганизмов в летний период по сравнению с корнями растений. Однако на протяжении сезона она варьирует незначительно (50—60%). При этом в 2011 г. доля корневого дыхания несколько ниже (43%), вероятно, также за счёт повышенной активности микроорганизмов в благоприятных микроклиматических условиях. Доля корневого дыхания в сосняке кустарничковом и березняке кустарничковом на протяжении сезона несколько ниже, чем в сосняке беломошном (30—50%). Это может быть следствием разного качества опада, поступающего в почвы (Кадулин, Копцик, 2013). Лиственный опад берёзы и кустарничков в связи с обогащенностью элементами питания и легкоразлагаемыми компонентами является более благоприятным для развития микроорганизмов, чем хвоя и лишайники. Таким образом, в кустарничковых лесах благодаря «лучшему» качеству опада вклад корней снижается за счёт роста дыхания микроорганизмов.

Важным условием высокой активности микроорганизмов является наличие источника питания, которым в почве служат водорастворимые соединения углерода. Так, содержание водорастворимого углерода в верхнем горизонте почв в сосняке беломошном на протяжении сезона значительно варьировала (1300—2500 мкг/г) и было в 1,5—2 раза ниже, чем в сосняке кустарничковом и березняке кустарничковом.

Содержание водорастворимого азота в почвах сосняка беломошного было на достаточно высоком уровне (110—160 мкг/г), что создаёт благоприятные условия для развития как растений, так и микроорганизмов. Однако содержание водорастворимого азота в почвах сосняка кустарничкового и березняка кустарничкового было 1.5—2 раза выше. В условиях достаточного питания в летний сезон развивается высокая биомасса микроорганизмов. В сосняке беломошном она (2200 мкг/г) в 2—2.5 раза меньше, чем в сосняке кустарничковом (3900 мкг/г) и березняке кустарничковом (5200 мкг/г). Такая разница в значительной степени определяет пространственную дифференциацию интенсивности почвенного дыхания в лесных экосистемах заповедника.

Выводы. Лесным экосистемам заповедника Пасвик свойственна низкая интенсивность почвенного дыхания, характеризующаяся выраженной пространственно-временной изменчивостью. Эмиссия CO_2 , содержание его водорастворимых соединений и микробная биомасса в сосняке кустарничковом и березняке кустарничковом в 1.5—2 раза больше, а доля корневого дыхания несколько меньше, чем в сосняке беломошном, что свидетельствует о повышенной биологической активности почв под мелколиственными лесами по сравнению с хвойными и под кустарничковыми типами леса по сравнению с лишайниковыми. Дыхание почв весной и осенью минимально в утренние часы, возрастает днём и вновь снижается вечером. Летом эмиссия CO_2 максимальна, при этом суточная динамика не выражена.

Авторы благодарны В.Е. Чижову и Н.В. Поликарповой за помощь в организации исследований на территории заповедника «Пасвик». Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 11-04-01794-а, <http://eco.soil.msu.ru/carbon>).

Литература

1. Экспериментальная оценка вклада дыхания корней растений в эмиссию углекислого газа из почвы // Почвоведение. 2010. № 12. С. 1479—1488.
2. Эмиссия CO_2 почвами в зоне влияния ГМК «Североникель» в Кольской субарктике // Почвоведение. 2013. № 11.

БИОТРАНСФОРМАЦИЯ ЛИГНИНА В ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ

Ковалев И.В., Ковалева Н.О.

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

kovalevmsu@mail.ru

Экосистемы лесной зоны — главный элемент биосферы, где идет активный сток углекислого газа в почву (Л.О. Карпачевский, «Экосистемы России, 2007»). И это несмотря на то, что тропические леса занимают 1.7 млрд. га (FAO, 2005). Комплексная ароматическая структура и гидрофобные свойства лигнина, а также его высокая биохимическая стабильность определяют уникальную роль этого биополимера в процессах гумификации и планетарном круговороте углерода. Учитывая, что лигнин содержит на 50 % больше углерода на единицу веса, чем составляющая 57—77 % опада целлюлоза, можно утверждать, что устойчивое к биохимическому разложению обсуждаемое соединение тем самым выводит углерод из кругооборота на значительные периоды времени. Так ли это?

Цель работы — выявление закономерностей поступления, состава и трансформации лигнина и его производных в тканях растений — подстилках — почвах некоторых лесных экосистем.

Объекты исследования: евразийские леса из сосны, лиственницы, кедра, ели, пихты (50 км от г. Красноярска); южнотаежные березо-осиновые леса Коломенского ополья Московской области; дубово-липовые широколиственные леса («Тульские засеки») на серых почвах; березовые колки лесостепи Брянской области на агросерых почвах; тропический лес Амазонии на красноземах (Бразилия); аридные экосистемы вертикальных природных зон Тянь-Шаня; гумидные экосистемы Северного Кавказа. Основные методы — апробированная методика мягкого щелочного окисления органического вещества оксидом меди в азотной среде с последующим использованием хроматографии тонкого слоя является наиболее перспективной для анализа содержания и состава лигнина в объектах наземных экосистем: не только в тканях растений, но и в дневных и погребенных почвах, включая минеральные малогумусные горизонты, в конкреционных новообразованиях, препаратах гуминовых кислот, гранулометрических фракциях почв [1, 2]. Щелочное окисление исследуемых образцов оксидом меди дало 11 фенолов, которые сгруппированы по их химической природе в 4 структурных семейства: ванилиновые (V), сирингиловые или сиреневые (S), п-кумаровые (C) и феруловые фенолы (F). Сумма продуктов окисления (VSC) отражает общее содержание лигнина в образце.

Результаты. Разные типы растительных тканей (голосеменные и покрытосеменные, древесные и недревесные, надземные и подземные) имеют контрастные «лигниновые параметры». Мы подтвердили существующие закономерности и обнаружили в наших образцах 3 известных типа лигнина. Во-первых, лигнин хвойных растений (мягкий древесный лигнин) содержит ванилиновые (гваяциловые) фенолы в качестве основной структурной единицы — до $60 \text{ мг г}^{-1} C_{\text{орг}}$ можжевельника и до $80 \text{ мг г}^{-1} C_{\text{орг}}$ — в опаде пихты. Сиреневые и цинамиловые кислоты и альдегиды в хвое практически отсутствуют и отношение $S/V = 0$. Впервые установлен химический состав лигнина из тканей можжевельника. Соотношение VSC в нем составил — 41:1:2. Во-вторых, лигнин лиственных деревьев (тяжелый древесный лигнин), преимущественно состоит из примерно равного количества ванилиновых (гваяциловых) и сирингиловых структур. При этом лигнин тканей лиственных пород горных лесов Кавказа (бук, каштан), почти не отличается от лигнина листвы пород умеренного пояса и орехово-плодового горного леса Тянь-Шаня и содержит действительно близкие количества ванилиновых и сирингиловых фенолов. Содержание циннамиловых фенолов близко к 0. В мелколиственных породах умеренного пояса композиционные соотношения — 4:4:1 2:1:1, а в тканях широколиственных растений 8:2:1. Минимум кумаровых и феруловых фенолов и нехарактерные для широколиственных пород следовые количества сиреневого альдегида обнаруживает опад тропических древесных растений Амазонии. П-кумаровые кислоты отсутствуют и в древесине хвойных растений — сосны и можжевельника. Третий тип лигнина — это лигнин травянистых растений, которым присуще наибольшее количество циннамиловых структурных единиц: их содержание в степных и луговых злаках и разнотравья возрастает до 20—30 мг/г углерода, что в 4—6 раз больше, чем у древесных растений.

Определение продуктов окисления лигнина в подстилках разных типов растительных ассоциаций показало, что различия лигниновых параметров в них менее контрастны, а содержание лигнина значительно ниже по сравнению с живыми

растительными тканями. Хотя композиционно подстилки повторяют характерные для живых тканей закономерности: подстилки хвойных пород характеризуются накоплением ванилиновых (гваяциловых) фенолов — до $33 \text{ мг г}^{-1} \text{ C}_{\text{орг}}$ под кроной можжевельника, - и сохраняют тенденцию к меньшему содержанию синрингиловых и кумариловых структур. Подстилки лиственных пород имеют примерно равные соотношения ванилиновых (гваяциловых) и синрингиловых фенолов и меньшее по сравнению с кумаровыми количество феруловых кислот (V:S:C — 4:4:1; 2:1:1). Значительное уменьшение продуктов окисления лигнина (VSC) характерно для буково-грабово-каштанового опада с 10.4 до 2.2 мг/г углерода; опада в берёзовой роще с 24.5 до 10.9 мг/г углерода; в осиновой роще — с 9.3 до 1.6 мг/г углерода. Типичные структурные фрагменты лигнина еще долго узнаваемы в почвах [3]. Например, в серых лесных почвах Коломенского ополья величина отношения синрингилов к ванилинам S/V отношения около 1. Эти цифры соответствуют значениям, типичным для свежих тканей березы, характеризующихся эквивалентным вкладом синрингиловых и ванилиновых единиц. Почвы «Тульских засек» характеризуются отношением синрингиловых фенолов к ванилинам S/V около 0.8 в верхней части профиля, что типично для древесных широколиственных пород. Установлено, что наибольшее суммарное (VSC) количество продуктов окисления лигнина в рассматриваемых горизонтальных рядах почв приурочено к почвам естественных биогеоценозов с наивысшей биопродуктивностью: серая лесная почва Тульских засек, черноземы Курского заповедника, красноземы тропического леса Амазонии. При этом, показана линейная зависимость увеличения степени измененности боковых цепочек лигниновых структур. Так в почвах южной тайги она составляет 5—8%, в лесостепи — 9—10%, в черноземах — 10—12% и, достигая максимальных значений в красноземах тропического леса до 30—50%, то есть фактически следует за величиной периода биологической активности. В почвах вертикального ряда наблюдается параболический характер распределения лигнина в ряду: от подножия к вершинам с максимумом содержания лигнина в субальпийских черноземовидных почвах (Тебердинский заповедник Кавказа и заказник Чон-Курчак Тянь-Шаня). В условиях антропогенного использования (пашня Русской равнины, плантация производственной древесины Бразилии, вторичные леса Красноярск) количество лигнина в почвах уменьшается по сравнению с естественными аналогами. 1.

Исследования выполнены при финансовой поддержке DAAD в Байройтском университете ФРГ, грантов РФФИ №№ 08-04-00809-а, 09-04-00747-а, 11-04-00453-а

Литература

1. Биохимия лигнина в почвах периодического переувлажнения (на примере агросерых почв ополей Русской равнины) // Почвоведение, 2008, № 10 с. 1205-1216.
2. Биотрансформация лигнина в дневных и погребенных почвах разных экосистем // Почвоведение, 2009. № 11. С. 84-96.
3. Лигнин в почвах как молекулярный индикатор палеорастительности // Электронный журнал «Доклады по экологическому почвоведению», 2013, выпуск 18, № 1, с. 235-262. <http://soilinst.msu.ru>

ЗАПАСЫ УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ ХВОЙНЫХ ЭКОСИСТЕМ СЕВЕРО-ВОСТОКА

Кузнецов М.А., Осипов А.Ф., Бобкова К.С.
ИБ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар
kuznetsov_ma@ib.komisc.ru

Почвы бореальных лесов являются важнейшим резервуаром органического углерода. На современном этапе накопилось значительное количество работ по количественной оценке запасов углерода в почвах мира и отдельных регионов. Определены его запасы для России и почв лесного фонда. В Республике Коми определения запасов проводились в почвах тундры и ельниках черничных на подзолистых почвах. Следовательно, круговорот и запасы углерода в лесных почвах данного региона до сих пор остаются слабо изученными, несмотря на то, что основные закономерности гумусообразования в них установлены.

Цель данного исследования — оценка содержания органического углерода в верхнем 1-метровом слое почв сосновых и еловых лесов северной и средней тайги.

Учет содержания углерода в подстилке бореальных лесов крайне важен при оценке углерод-депонирующей роли почв Севера. В ней концентрируется до 47% углерода 1-метрового профиля почвы. Отмечено, что большие количества органической массы подстилки характерны для долгомошных и сфагновых типов лесов.

Показана значительная вариация запасов органического углерода метрового профиля почв, развитых под хвойными насаждениями северной и средней тайги. В почвах ельников аккумулируется 57—170, а сосняков — 40—130 тС/га. В почвах древостоев послепожарного происхождения отмечается более высокое содержание углерода за счет высвобождения углерода в результате деструкции погибших от воздействия огня древесных растений.

Такой широкий диапазон оценок запасов органического углерода является одной из характерных черт накопления органического вещества и углерода в почвах хвойных сообществ таежной зоны, отображающих разнообразие лесорастительных условий.

ВЛИЯНИЕ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОЧВ

Кузнецов П.В.¹, Гребенщикова В.И.², Пройдакова О.А.²
¹ЦЭПЛ РАН, Москва; ²ИГХ СО РАН, Иркутск
petr-kp@mail.ru

Одной из экологических функций почв является сорбция в ней химических элементов, реализация которой в условиях аэротехногенного загрязнения приводит к накоплению в ее верхних горизонтах химических элементов в токсичных концентрациях. Другим источником повышенных содержаний химических элементов в почвах могут служить коренные и почвообразующие породы. Выход таких пород на дневную поверхность в результате хозяйственной деятельности, также может представлять экологическую опасность, связанную с вовлечением данных элементов в миграцию и биологический круговорот. В этой связи, важным и актуальным аспектом оценки

состояния почв и проведения почвенно-экологического мониторинга является изучение их фонового состояния, знание которого позволяет дать адекватную оценку тому или иному источнику в ней химических элементов. Объектом исследования служили почвы условно фоновых районов Иркутско-Черемховской равнины. На территории исследований наиболее распространенными являются дерновые лесные, дерновые карбонатные, серые и темно-серые лесные почвы, подстилаемые преимущественно песчаниками и алевrolитами юрского возраста. Изучались валовые и обменные формы химических элементов на примере двух почвенных разрезов — дерновой лесной и серой лесной глееватой почвы. Анализ образцов проводился в Аккредитованном аналитическом секторе Института геохимии СО РАН методом атомной абсорбционной спектроскопии.

Разрез дерновой лесной почвы заложен в Зиминском районе Иркутской области (Глинкинский лесхоз) на удалении от влияния автотранспорта и промышленных предприятий. Склон 3—5° южной экспозиции. В составе древостоя преимущественно сосна, наземный растительный покров представлен злаковым разнотравьем.

Результаты определения валовых форм тяжелых металлов и мышьяка в почвенных горизонтах показали увеличение их содержаний с глубиной профиля. Повышенные содержания в нижних горизонтах почвы по сравнению с верхними горизонтами отражают химический состав почвообразующей породы. Особенно данное обстоятельство наглядно прослеживается в отношении никеля (35 и 75 мг/кг соответственно в горизонтах АО и ВС) и мышьяка (3.0 и 6.3 мг/кг). Менее выражено увеличение содержаний в профиле для других элементов. Результаты определения обменных форм элементов показывают иное распределение их в почвенном профиле.

Содержания обменных форм кобальта, цинка и свинца снижаются по глубине почвенного профиля с наибольшими содержаниями в верхней его части. Также снижается и доля подвижных форм элементов относительно валовых содержаний. Наибольшее содержание обменных форм никеля (а также доля относительно валового содержания) отмечено в переходном горизонте, но в целом, для никеля наибольшие содержания обменных форм так же, как и валовых, отмечаются в нижних горизонтах почв. Обменные формы меди имеют элювиально-иллювиальное распределение. Первый максимум наблюдается в верхнем (АО) горизонте, что связано с ее биогенным накоплением, а также в нижних горизонтах, что связано с увеличением ее содержания при переходе в почвообразующую породу. Исходя из доли обменных форм рассматриваемых элементов в почве, относительно их валовых форм, большей подвижностью в сравнении с остальными элементами характеризуется никель (1.8—4.6 % обменного никеля от валового содержания), а наименьшей — свинец (0.1—0.2 % обменного свинца от валового содержания).

Характер распределения элементов в профиле данной почвы свидетельствует, что их источником в почве служат почвообразующие породы и нарушение почв в результате хозяйственной деятельности, что может способствовать выходу на дневную поверхность ее нижних горизонтов и почвообразующих пород с повышенными содержаниями тяжелых металлов (по сравнению с их содержаниями в верхних горизонтах исходных почв). Примером может служить ситуация, сложившаяся в окрестностях г. Черемхово Иркутской области, где в результате добычи угля открытым способом и последующей рекультивации, коренные породы оказались на дневной поверхности. Опробование здесь верхних горизонтов почв выявило повышенные содержания никеля и других элементов, связанные с влиянием коренных пород (Кузнецов и др., 2011). Несмотря на то, что содержания их валовых и обменных форм не достигают предельно допустимых концентраций (согласно принятым нормативам), изменение условий может привести к изменению их миграционной

способности, что может неблагоприятно отражаться на экологической ситуации.

В результате антропогенного загрязнения почв, например, при поступлении химических элементов из атмосферы, в результате реализации сорбционной функции почв, значительная их часть сосредотачивается в лесных подстилках и органогенных горизонтах, о чем свидетельствуют многочисленные исследования. Причем химические элементы в поступающих тем или иным способом в почву техногенных продуктах могут обладать заметной подвижностью, что наглядно показано на следующем примере.

Разрез серой лесной глееватой почвы с погребенным гумусовым горизонтом заложен в зоне влияния промышленных предприятий города Ангарска вблизи действующего золоотвала ТЭЦ, оказывающим наибольшее влияние. Древостой представлен преимущественно березой, в наземном растительном покрове — злаковое разнотравье.

Данная почва обеднена по валовым содержаниям тяжелых металлов, в сравнении с выше описанной почвой, и характеризуется иным распределением их в профиле, что связано с условиями почвообразования, различиями в химическом составе коренных пород или возможной нарушенностью почвенного профиля.

Существенные отличия наблюдаются в содержаниях обменных форм химических элементов и их доли относительно валовых содержаний. Наиболее существенно возрастает доля подвижного свинца (до 15.6 % от валового содержания), цинка (до 3.4%) и меди (до 3.5%), что, очевидно, связано с химическим составом техногенных продуктов, содержащихся в почве.

Таким образом, на примере изучения химического состава профилей условно фоновой и подверженной техногенной нагрузке почвы, показано влияние природных и антропогенных факторов на их химический состав. Распределение элементов в профиле фоновой почвы свидетельствует о возможности поступления тяжелых металлов в повышенных концентрациях в составе коренных и почвообразующих пород на дневную поверхность в результате хозяйственной деятельности.

ФИТОГЕННЫЕ МЕХАНИЗМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПЛОДОРОДИЯ ЛЕСНЫХ ПОЧВ

Орлова М.А.
ЦЭПЛ РАН, Москва
dr.m.orlova@gmail.com

«На земной поверхности нет химической силы более постоянно действующей, а поэтому и более могущественной по своим конечным последствиям, чем живые организмы, взятые в целом» (Вернадский, 1926). Начало почвообразования всегда связано с поселением организмов на минеральном субстрате. В почве обитают представители всех четырех царств живой природы — растения, животные, грибы, прокариоты. Пионерами в освоении и преобразовании косного минерального вещества в почве являются различные виды микроорганизмов, лишайники, водоросли. Они еще не создают почву, они готовят биогенный мелкозем — субстрат для поселения высших растений — основных продуцентов органического вещества. Именно им, высшим растениям, как главным накопителям вещества и энергии в биосфере, и принадлежит ведущая роль в процессах почвообразования.

Выделяют следующие механизмы влияния растений на почву (Nihlgard, 1971; Hobbie 1992; Lovett, 1992; Berkvist and Folkeson, 1995; Binkley and Giardina, 1998; Карпачевский, 1977; Никонов, Лукина, 1996): химическое выветривание горных пород, перераспределение осадков, поступление элементов питания с опадом, а в случае с деревьями, также со стволовыми и кроновыми водами, разложение и минерализация органического вещества, формирующегося из растительных остатков разного качества, поглощение элементов питания.

В настоящее время существует множество работ посвященных изучению роли различных факторов почвообразовательного процесса. Работ по влиянию биоты на лесные почвы немного, тогда как сейчас эта тема приобретает важность в связи с исследованиями экосистемных функций лесов. Леса выполняют множество экосистемных функций: обеспечивающие, поддерживающие, регулирующие и культурные. Почвы как компонент лесных экосистем участвуют в выполнении экосистемных функций, которые объединяют в группы: физические, химические, биологические и информационные. Естественные почвы обладают всем набором экологических функций, которые выработались за все время эволюции экосистем. Следует отметить, что в лесных экосистемах часть экологических функций почвы делегируется органогенным горизонтам, в которых аккумулируются элементы питания, углерод и азот, сосредоточены корни растений и почвенная биота, связанные с важнейшей экосистемной функцией — формированием плодородия почв.

Цель работы — исследование влияния растений на формирование плодородия лесных почв. Для достижения поставленной цели ключевыми моментами являются выявление элементарной единицы лесного биогеоценотического покрова, на уровне которой реализуются взаимосвязи растительность — плодородие почв (Лукина и др., 2010, Орлова и др., 2011) и выявление информативных показателей, позволяющих обнаружить связи между растительностью и плодородием почв.

Для исследования взаимосвязей растительность — почва в качестве элементарной единицы лесного биогеоценотического покрова, на уровне которой эти взаимосвязи реализуются, мы предлагаем выделять элементарный биогеоареал (ЭБГА). ЭБГА — это пространственная структурно-функциональная единица биогеоценотического покрова. В иерархии пространственных уровней лесного биогеоценотического покрова ЭБГА является базовой единицей, иерархический ряд выглядит следующим образом: ЭБГА, парцелла, биогеоценоз, бассейн малой реки и т.д. ЭБГА является элементарным провайдером экосистемной функции — формирования плодородия почв (Орлова, 2012а). Для типологии ЭБГА предлагается два уровня: 1 — типы ЭБГА, 2 — группы типов ЭБГА. Идентификация единиц первого уровня проводится на основе видов растений-доминантов. В случаях древесных ЭБГА на первом месте дается название вида древесного растения, а далее — названия видов/родов напочвенного покрова. Выделение единиц групп типов ЭБГА целесообразно проводить с учетом вида - доминанта древесных растений, доминирующих жизненных форм сосудистых растений напочвенного покрова (кустарнички, травы), классов/подклассов мхов и лишайников на уровне целого отдела (Орлова, 2013).

Информативными показателями взаимосвязей растения — почва как на уровне биогеоценоза, так и внутрибиогеоценотических структур являются динамические показатели плодородия почв. Диагностическим критерием плодородия почв является качество опада, включающее в себя два компонента — элементы питания и вторичные метаболиты (Berg, 2000).

В данном исследовании на многочисленных материалах впервые показано влияние различной растительности на формирование плодородия почв естественных старовозрастных бореальных лесов на двух пространственных уровнях: ЭБГА и БГЦ. Установлено различное влияние на плодородие почв доминирующих в бореальной зоне растений древесного яруса (ель, сосна, пихта, кедр, береза) и напочвенного покров (зеленые мхи, бореальные кустарнички, мелкотравье, высокотравье), а также лишайников. Так, самыми высокими концентрациями и запасами общего азота, доступных соединений элементов питания, а также низкой кислотностью, характеризуются органогенные горизонты почв еловых и пихтовых ЭБГА по сравнению с кустарничково-зеленомошными и папоротниковыми. Содержание доступных соединений элементов питания в органогенных горизонтах сосновых ЭБГА также выше по сравнению с кустарничково-лишайниковыми, однако этот эффект выражен слабее, чем в еловых БГЦ. Береза способствует повышению уровня плодородия: содержание элементов питания в почвах березовых ЭБГА выше. На уровне БГЦ показано, что концентрация доступных соединений элементов питания в почвах сосняков кустарничково-зеленомошных выше, чем в почвах сосняков лишайниковых. Сравнение березняков, формирующихся на одних и тех же типах почв, демонстрирует, что самым высоким уровнем плодородия характеризуются березовые леса с разнотравьем, а самым низким – березняки лишайниковые и кустарничково-лишайниковые. При сравнении ельников и сосняков со сходным составом напочвенного покрова (кустарничково-зеленомошные типы) и формирующихся в сходных условиях на подзолах иллювиально-железистых, распространенных в бореальной зоне, содержание доступных для растений элементов питания в почвах ельников выше, чем в почвах сосняков.

Показано действие известных механизмов влияния растений на плодородие почв на уровне ЭБГА и БГЦ через химический состав опада, вымывание элементов из крон, разложение растительных остатков разного состава. Впервые установлено влияние размеров, строения крон и возраста деревьев на плодородие почв на уровне ЭБГА и влияние перераспределения осадков, густоты и возраста древостоя, стадии восстановительной сукцессии на уровне БГЦ. Идентифицированы информативные динамические показатели плодородия почв для выявления взаимосвязи почва-растительность на различных пространственных уровнях: содержание в почвах азота, доступных для биоты соединений кальция, марганца, кадмия, магния, актуальная кислотность. Показана диагностическая роль качества опада (лигнин, фенолы, отношений C/N, C/P, лигнин:N) в формировании плодородия почв на уровне ЭБГА и БГЦ.

ЗАПАСЫ КРУПНЫХ ДРЕВЕСНЫХ ОСТАТКОВ КАК РЕЗЕРВУАР ПИТАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПОЧВЫ В ЕЛЬНИКАХ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ

Осипов А.Ф., Кузнецов М.А., Бобкова К.С.
ИБ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар
osipov@ib.komisc.ru

Лесные экосистемы в процессе своего развития потребляют элементы питания из почвы, которые оказываются надолго связанными в фитомассе древесных растений. Основным депо, концентрирующим химические элементы, является древесина ствола. Так, в ельниках в древесине ствола накапливается азота и зольных элементов порядка 0.79—0.84 т/га. Вследствие большой продолжительности жизни деревьев и невысокой интенсивности их деструкции, возврат питательных веществ в почву замедлен. Крупные древесные остатки (КДО), представленные сухостоем, валежом и пнями, являются важным компонентом лесной экосистемы, выполняющим ряд функций при почвообразовании: основа формирования подстилки, депо питательных элементов, субстрат для обитания почвенных беспозвоночных (Wu et al., 2005). Исследованиями, проведенными ранее, показано, что таежные почвы бедны питательными элементами. Поэтому, изучение роли КДО в круговороте веществ между фитоценозом и почвой, является актуальной задачей.

Цель работы — определить запасы органической массы крупных древесных остатков с учетом их степени деструкции в ельниках средней тайги.

Исследования проведены в четырех спелых ельниках черничного типа средней тайги на территории Ляльского лесного стационара Института биологии Коми НЦ. Ельники относительно разновозрастные, сложные по составу, высокополнотные, IV—V классов бонитета. Используя данные определения морфометрических характеристик деревьев (высота, диаметр) при перечете, был определен объем КДО на пробных площадях. Запасы древесины, сконцентрированные в КДО разных стадий гниения, варьируют от 60 до 93 м³/га, что составляет 20—43% от растущих деревьев.

Для определения органической массы отмершей древесины нами определена базисная плотность (БП) древесины на разных стадиях гниения. Выявлено, что БП уменьшается с увеличением стадии гниения. Так, плотность мертвой древесины ели снижается от 0.41 до 0.16 г/см³, сосны — от 0.5 до 0.11, березы — от 0.48 до 0.20 г/см³. Следует отметить, что базисная плотность первой стадии разложения незначительно отличается от БП здоровой древесины у ели и березы. Используя полученные данные по объему и базисной плотности гниющей древесины, находящейся на различных стадиях деструкции, определены запасы органического вещества КДО в спелых ельниках средней тайги.

Выявлено, что запасы органического вещества древесного дебриса варьируют от 19 до 35 т/га, из которых на долю сухостоя приходится 5—42%, валежа — 23—80%, пни и остолопы — 1—32%. Что касается распределения по стадиям разложения, то в древесине на первой стадии концентрирует 5—51%, вторая — 23—82%, третья — 1—21%, четвертая — 0—6% от общей массы КДО.

Таким образом, значительные запасы КДО в исследованных ельниках обусловлены стадией развития. В древостоях много старовозрастных ослабленных деревьев, обеспечивающих переход органического вещества из живой фитомассы в древесный

дебрис. Наличие КДО преимущественно первых двух стадий разложения обусловлено зарастанием валежа более поздних стадий мхами. В результате их трудно выявить при перечете и практически невозможно определить точные размеры.

Работа выполнена при поддержке научного проекта молодых ученых и аспирантов УрО РАН № 13-4-НП-93

ЗАПАСЫ ПОЧВЕННОГО УГЛЕРОДА В ЭКОСИСТЕМАХ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ (РЕСПУБЛИКА КОМИ)

Пастухов А.В., Каверин Д.А.
ИБ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар
alpast@mail.ru

Таежные экосистемы являются огромными резервуарами атмосферного углерода, который заключен в фитомассе и почве. Для среднетаежной зоны России пул углерода органических соединений лесной растительности составляет 20,59 Гт (Shvidenko, Nilsson, 2003), а запасы почвенного углерода (верхние 100 см почвы) — 52 Гт или 21,9 кг/м² (Орлов, Бирюкова, 1995). На данном этапе исследований существует ряд работ, характеризующих запасы и распределение почвенного углерода в тайге, но они имеют достаточно низкое пространственное и тематическое разрешение (Добровольский и др., 1999; Исаев, Коровин, 1999; Орлов, Бирюкова, 1995; Честных и др., 2004; Adams, 2002; Bird et al. 2001; Hagedorn, 2001; Заварзин, 2007 и др.).

Цель данной работы — дать точную количественную оценку запасов почвенного углерода органических соединений, которая необходима для понимания роли среднетаежных экосистем в углеродном цикле. В данной работе мы впервые используем пространственное разрешение свыше 30 м. На основе спутниковых снимков среднего (Landsat, 15 м на 1 пиксель) и крупного (QuickBird, 0.61 м на 1 пиксель) разрешения, проведенных собственных почвенных исследований (53 почвенных профиля), почвенной базы данных из литературных и архивных источников Института биологии были построены крупномасштабные почвенные карты (масштаба 1:25000) и определены запасы почвенного углерода типичного ключевого участка Ляли, расположенного в средней тайге на Северо-Востоке Европейской России.

Участок Ляли находится в области сезонного промерзания в среднетаежной подзоне. При наличии дренажа господствуют зеленомошно-черничные еловые леса, класс бонитета III, IV, V (в зависимости от условий произрастания леса), сомкнутость крон 0.7—0.8, высота еловых древостоев составляет в среднем 18—20 м. По направлению к водоразделу, по мере роста застойного атмосферного увлажнения, появляется политрихум, леса переходят в зеленомошно-долгомошные и долгомошно-сфагновые группы V класса бонитета. В центральных частях водоразделов преобладают сфагновые мхи, образующие зачастую крупные безлесные сфагновые болота. Крайне незначительное участие травянистой растительности в дренированных лесах является общей характерной особенностью средней тайги. Второе место после ельников занимают сосновые леса. Их наиболее крупные массивы приурочены к борovým террасам рек и к флювиогляциальным зандровым ландшафтам. В средней тайге в связи с интенсивным хозяйственным освоением широко распространены производные (после рубок и пожаров) березовые, осиновые, елово-березовые и елово-сосновые леса. Травянистая растительность формируется лишь в поймах рек и на суходолах.

Суходольные луга неустойчивы — быстро покрываются мхом и зарастают лесом.

Почвенные исследования включали в себя заложение 53 почвенных разрезов, большей частью в виде трансект протяженностью 900 м с интервалом в 100 м, выбранных с учетом изменения типов растительности и геоморфологического положения. Почвенные образцы отбирались погоризонтно, а также через каждые 5—10 см для определения объемного веса и последующего подсчета запасов почвенного углерода. Лабораторные анализы были выполнены согласно руководству Procedures for Soil Analyses (2002). Расчет запасов углерода в почвах, в которых не было данных по объемному весу, производился по методике, предложенной Честных и Замолодчиковым (2004).

$$BD = a_1 - a_2 / (MID + a_3) + a_4 / (1,724C + a_5),$$

где BD — плотность почвенного горизонта, г/см³; MID — глубина залегания горизонта, см; C — содержание углерода в горизонте, %; a₁—a₅ — параметры уравнения, R² = 0.828. Были составлены почвенные карты ключевого участка Ляли масштаба 1:25000 на основе спутниковых снимков Landsat ETM+ и QuickBird с использованием программных продуктов ERDAS IMAGINE 9.0 и ArcGIS 9.1. Почвенные карты создавались методом автоматической управляемой классификации (supervised classification). Спутниковые снимки были преобразованы в растровые карты, содержащие информацию о почвенном типе для каждого класса пикселей. Растровые изображения обобщали и генерализовали, а затем конвертировали в векторные полигоны. Результирующие векторные карты были получены в виде шэйп-файлов (.shp) в программном пакете ArcGIS 9.1 (Каверин и др., 2012).

Средние значения почвенного углерода (кг С/м²) для каждой группы почв подсчитывали как среднее арифметическое значение содержания углерода в отобранных почвенных образцах для каждой группы и подгруппы почв, обозначенных на карте. При составлении карт и подсчете запасов углерода использовали Международную Реферативную Базу почв — WRB 2006 года, так как в ней применены более формализованные критерии отнесения почв к тому или иному таксону по сравнению с Классификацией и диагностикой почв России 2004 года и официально признанной российскими почвоведомы Классификацией почв СССР 1977 г.

Распространение почв на ключевом участке Ляли на ландшафтном уровне, является характерным для почв зоны средней тайги. В автономных позициях на легких почвообразующих породах формируются преимущественно подзолы иллювиально-железистые (Albic Podzols), на суглинистых породах преимущественно распространены подзолистые (Albeluvisols) и торфянисто-подзолисто-глееватые почвы (Histic Albeluvisols), на двучленных породах — подзолистые контактно-осветленные (Abruptic Albeluvisols), в гидроморфных позициях рельефа преобладают торфяно-болотные верховые (Fibric Histosols). Также значительное распространение имеют различные типы аллювиальных почв (Fluvisols).

В данной работе дана оценка запасов почвенного углерода на основе полевых и аналитических исследований, которые были применены для крупномасштабных карт почвенного покрова (использовалось 9 почвенных подгрупп). По нашим данным среднее содержание почвенного углерода в метровой толще в средней тайге составляет 16,1 кг С/м², что сопоставимо с данными опубликованными в более ранних работах. Впервые используемое высокое пространственное разрешение (свыше 30 м) построенных почвенных карт для подсчета почвенного углерода позволило получить детальную информацию не только об общих запасах углерода, но и о его пространственном распространении в различных подгруппах почв и генетических горизонтах.

Данная работа была выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ № 12-04-31759 и проекта №12-Т-4-1006 программы ОБН РАН.

МИГРАЦИЯ ПРИРОДНЫХ ВОД В УСЛОВИЯХ МОДЕЛЬНОГО ДЛИТЕЛЬНОГО ОПЫТА

Первова Н.Е.

МГУ имени М.В. Ломоносова, Факультет почвоведения, Москва
pochw@yandex.ru

В середине XX века исследователи перенесли опыты в природную обстановку и начали изучать почвенные процессы, по возможности, *in situ*.

Поскольку жидкая фаза почв представлена неравнозначными категориями влаги, целесообразно сочетание нескольких методов её изучения. Существуют многообразные методы, разработанные для оценки состава почвенных растворов. В практике широко применяется лизиметрический метод.

С первых шагов перед исследователями возникают вопросы относительно идентичности данных, полученных при работе с лизиметрами различного типа. Изучение динамики влаги в естественной почве и в почве, находящейся в лизиметре, привели почвоведов к заключению, что режим влажности почвы неодинаков в обоих случаях и метод работы с лизиметрами не гарантирует тождества с природными условиями. Однако, получая данные в многолетних циклах, можно определить тенденции в поведении жидкой фазы почв.

Метод широко используется в связи с проведением мероприятий по охране природы, в частности по предотвращению загрязнения открытых водных источников от промышленных стоков. Важными задачами, которые можно решить с помощью лизиметрического метода являются: исследование переноса веществ в почвах, изучение эволюции почв, мониторинговые исследования.

Факультет Почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова располагает уникальной установкой почвенных лизиметров. Лизиметры открытого типа заложены в 1967 г., площадь каждого 9 кв.м, глубина 2 м. Размеры лизиметров (объем 18 кубометров) позволили создать маленькие модельные экосистемы. Лизиметры засыпаны бескарбонатным покровным суглинком и заняты различной растительностью: четыре — культурой ели, четыре — смешанными древостоями (ель, дуб, клен), четыре — широколиственными породами (дуб, клен). Луговая растительность также занимает четыре лизиметра, еще два засеяны культурами, входящими в полевой севооборот, два лизиметра - контрольные, поддерживаемые в состоянии чистого пара.

Одной из задач работы является отслеживание процессов миграции химических элементов с природными водами через двухметровую толщу покровного суглинка (на начальных стадиях почвообразования). Известно, что на скорость и количество поступления воды из бункеров влияют влажность суглинка, испаряемость, температура воздуха, скорость фильтрации, характер растительности, распределение корней в почвенной толще и т.д.

Для всех лет наблюдений (весенние сезоны) отмечено наличие промывного типа водного режима. Чрезвычайно важно иметь данные о химическом составе природных вод для летних месяцев, так как именно летний сезон в большей степени определяет направленность многих природных процессов в последующие сезоны. По некоторым прогнозам будет иметь место более частая повторяемость сухих летних периодов, что может существенно изменить характер водного режима. Отмечены три фактора, которые будут действовать наиболее интенсивно: ежегодные осадки, состав атмосферы,

температура над поверхностью почвы. Выявлено, что в сухие летние сезоны выход воды в приемники лизиметров начинается при осадках выше 60 мм/месяц (в диапазоне 22—60 мм — лизиметры не работают).

В лизиметрических водах исследуемых модельных БГЦ преобладает ион кальция, среди анионов — сульфат-ион. Высокое содержание серы, как в осадках, так и в природных водах, объясняется, скорее всего, антропогенным влиянием мегаполиса. По убыванию концентрации в составе природных вод ионы располагаются в следующем порядке: сульфат-ион, кальций, магний, натрий, железо. За последний период исследований магний и натрий поменялись местами в этом ряду.

Одним из основных показателей, характеризующих состояние жидкого компонента почвы, является рН природных вод. Отмечены значительные колебания в кислотности вод мигрирующих в различных вариантах опыта. Эти колебания вызваны сменой сезона, года, а также изменчивостью состава атмосферных осадков. Низкие значения рН отмечены для вод ельника.

Амплитуда колебаний в концентрациях кальция 9.0—85.0 мг/л; магния 4.0—17.5 мг/л. Низкие концентрации кальция, магния и калия отмечены для контрольного варианта (чистый пар).

Для всех лет наблюдений отмечены низкие концентрации железа и фосфора в водах. Очевидно, это связано с тем, что их перемещение в почвенной толще осуществляется в форме органо-минеральных соединений, которые теряют подвижность и выпадают из растворов на небольших глубинах. Для того, чтобы интерпретировать тренды в миграции изучаемых элементов, необходимо анализировать воды, прошедшие через верхнюю часть почвенной толщи, затронутую почвообразованием. К сожалению, заповедный режим лизиметров пока не представляет такой возможности.

Выявлено, что химический состав лизиметрических вод сходен под различной растительностью. Это связано с наличием мощного слоя покровного суглинка, который нивелирует возможные различия в верхней части почвенной толщи.

Многолетние исследования на стационарных установках показали, что концентрации химических элементов в лизиметрических водах близки к их концентрациям в почвенных растворах подзоны южной тайги (Московская обл.). Это свидетельствует об однотипности влияния биоклиматических факторов. Длительные исследования на лизиметрах позволяют проследить за начальными стадиями почвообразования под различной растительностью (образование гумусового горизонта под многолетними травами, формирование горизонта и т.д.). Определение концентраций тяжелых металлов в водах позволяет реально оценить степень загрязнения изучаемых участков. Невысокое содержание тяжелых металлов в водах, хорошее состояние древесной растительности и относительная чистота почвенного воздуха свидетельствуют о благоприятной экологической обстановке на территории почвенного стационара. Наблюдения за сезонными колебаниями атмосферных осадков и количеством просачивающихся вод дают основания для оценки влагозарядки, что особенно важно для экстремально жарких периодов.

ОДНОВРЕМЕННАЯ ОЦЕНКА СКОРОСТИ РАЗЛОЖЕНИЯ ОПАДА ЧЕРЕЗ ПОТЕРЮ МАССЫ И ИЗМЕРЕНИЕ ЭМИССИИ CO₂ В УСЛОВИЯХ ТУНДРЫ И ЮЖНОЙ ТАЙГИ

Почикалов А.В.^{1,2}, Карелин Д.В.^{1,2}

¹МГУ имени М.В.Ломоносова, Биологический факультет, Москва,

²ЦЭПЛ РАН, Москва

dkarelin@pochta.ru

В последнее время не ослабевает интерес к изучению параметров и скоростей разложения растительных остатков в экосистемах с ограничивающим действием низких температур. Это связано как с недостаточной информацией по эффекту тормозящего действия холода и мерзлотного режима почвы на процессы разложения, так и с оценкой влияния направленных краткосрочных изменений климата (в частности, потепления) на функционирование этих экосистем. В условиях продолжающегося потепления в большинстве арктических и бореальных регионов показано, что скорости разложения разных видов меняются также по-разному (Arft et al., 1999). При изучении скорости деструкции сообщества это ставит в центр рассмотрения меняющийся видовой состав сообщества, зависящий от климата. Данные говорят о том, что косвенное воздействие меняющегося климата (через изменение видового состава) оказывается важнее, чем прямое (изменение скоростей разложения отдельных видов) (Robinson et al. 1995). В настоящей работе мы попытались сопоставить результаты полученные двумя независимыми методами оценки скоростей разложения основных фракций тундрового опада: через потери массы и по эмиссии CO₂ из навесок видов опада, что в полевых условиях было проведено впервые.

Исследования проводились на территории стационара «Тальник» (1996 — н.в.: 67°19.8' с.ш., 63°44.0' в.д., 120 м.н.у.м.) в зональной кустарниковой тундре с прерывистым распространением маломощных многолетних мерзлых пород с температурами около -0.1°C (Карелин, Замолотчиков, 2008), и на площадке «ЗБС», расположенной в подзоне южной тайги, на мезоповышении (плакорный участок в 2 км от р. Москвы), в спелом смешанном березово-еловом разнотравно-костянично-кисличном лесу (N 55°41.52' E 36°43.7', 200 м.н.у.м.).

Оценка потери массы опадов проводилась методом мешочков «litter bags» выложенных на поверхность почвы (Kampichler, Bruckner, 2009). Во всех случаях использовали 11 видов тундрового опада. Максимальный непрерывный период, который был охвачен измерениями потерь массы опада составляет в настоящее время на «ЗБС» — 291 день («осень—весна»), на «Тальнике» — 421 день («лето—осень—зима—лето—осень»). Полевые измерения эмиссии CO₂ из мешочков с опадом проводили *in situ* в специальных камерах с помощью портативного инфракрасного газоанализатора LiCor-6200 (LiCor Corp., Линкольн, Небраска, США) с разрешением 0.1 ppm, и портативной системы закрытого типа, выполненной нами на основе инфракрасного CO₂-анализатора AZ 7752 (Тайвань, КНР) с разрешением 1 ppm. Всего в 2011—2013 гг. было проведено 115 единичных измерений эмиссии CO₂ на «Тальнике» (в микроповышениях и микропонижениях) и 189 — на «ЗБС» (мезоповышение и мезопонижение). Максимальный период, который был охвачен измерениями, составил 492 дня. Во время измерений (включая зимний период) мешочки помещали в камеру, затем возвращали на место. Потери массы тех же мешочков с опадом определяли сушкой при +60°C после их окончательного изъятия. Результаты оценивали методами множественного линейного регрессионного анализа, с помощью

ANOVA, ANCOVA, логистической регрессии и корреляционного анализа по Пирсону. Достоверность различий проверяли по t-критерию ($p = 0.05$). Статистическую обработку проводили в SPSS 15.0 (SPSS Inc., 1989—2006).

1. Потери массы тундрового опада за год, оцененные двумя методами, значительно не отличаются. Одновременная полевая оценка скоростей разложения опада, дополняющими друг друга методами эмиссии CO_2 и потери массы в мешочках, позволяет рассмотреть этот процесс в разных временных масштабах, при этом, оба метода выступают в качестве независимого контроля по отношению друг к другу. Их одновременное применение позволяет получить ряд новых данных, в частности, оценить участие дефрагментации. При том, что потери массы за первый год (32—38%) даже несколько превышают среднее по базе данных (32%), потери с дефрагментацией в годовом эксперименте не установлены. Тем не менее, в другом эксперименте, отдельно за зимний период это различие за счет дефрагментации составило около 40%.

2. Поток CO_2 , связанный с дыханием надземного опада, может составлять почти половину валового дыхания южно-тундровых экосистем за конкретный год (48%). По нашим оценкам он составляет 61% валового дыхания в холодный период, и 23% — в теплый.

3. Наблюдаемый диапазон скоростей разложения отдельных фракций тундрового опада при максимальном увеличении временного разрешения (3—6 минут, по эмиссии CO_2), оказался намного выше, чем представлялось ранее исходя из данных, основанных только на потерях массы опада в мешочках. Этот диапазон (0.00005—0.00950 гС гС⁻¹ сут⁻¹, $n = 401$) отвечает различиям в скоростях разложения в 190 раз, что превышает глобальный диапазон скоростей разложения растительного опада в наземных биомах за год (Zhang et al., 2008). В годовом масштабе (по потере массы в мешочках) этот диапазон намного меньше и составляет от 0.00027 до 0.00569 гС гС⁻¹ сут⁻¹, или 21 раз.

4. В годовом масштабе абиотические факторы (в основном, температура поверхностного слоя почвы) оказались, в целом, важнее, чем качество самого опада, как в экосистеме кустарниковой тундры, так и в южно-таежном лесу. При уменьшении масштаба наблюдений до границ летнего сезона, факторы качества опада становятся ведущими.

Литература

1. У et al. (1999) Responses of tundra plants to experimental warming: meta-analysis of the international tundra experiment // *Ecological Monographs*, 64. pp. 491–511.
3. Kampichler C., Bruckner A. (2009) The role of microarthropods in terrestrial decomposition: a meta-analysis of 40 years of litterbag studies // *Biol. Rev.* 84, pp. 375–389.
4. et al. (1995) Responses of plant litter decomposition and nitrogen mineralisation to simulated environmental change in a high arctic polar semi-desert and a subarctic dwarf shrub heath // *Oikos*, 74, 503–512.
5. (2008) Rates of litter decomposition in terrestrial ecosystems: Global patterns and controlling factors // *Journal of Plant Ecology*. pp. 1-9.

ПРОДУКТИВНОСТЬ ФИТОМАССЫ И СВОЙСТВА ПОЧВ В КАТЕНАХ ПОД ИСКУССТВЕННЫМИ ЛЕСНЫМИ НАСАЖДЕНИЯМИ В ШИРИНСКОЙ СТЕПИ

Сорокина О.А.
Крас ГАУ, Красноярск
nikos.1948@mail.ru

Важнейшее значение в борьбе с деградацией и опустыниванием степных территорий республик Хакасия и Тыва принадлежит противоэрозионному комплексу, включающему искусственное лесоразведение, восстановление лесов, интродукцию древесных пород в условиях, отвечающих их требованиям. Искусственные лесные насаждения в этой зоне направлены на формирование каркасной основы агроландшафта и являются одним из основных средостабилизирующих компонентов. Для безлесных степных территорий этой зоны оценка лесорастительных свойств проводится по показателям плодородия почв в координации их с продуктивностью формирующихся лесных фитоценозов.

На эрозионно-опасных землях в Ширинской степи (прибрежная зона озера Шира) республики Хакасия в 1975—78 гг. созданы экспериментальные лесные посадки по специальной технологии при участии сотрудников Института леса им. В.Н.Сукачева СО АН. В настоящее время насаждения достигли 30-35-летнего возраста, приведя за довольно короткий срок произрастания к сукцессиям напочвенного покрова, микробиоты, изменению режима функционирования почв. Одна из основных задач комплексных исследований здесь включает, наряду с оценкой состояния древостоев в искусственных лесопосадках, изучение различных свойств почв по условиям рельефа, динамику изменения их плодородия и оценку экологической устойчивости.

Цель настоящих исследований – дать оценку некоторых показателей плодородия почв, а также запасов надземной травянистой фитомассы в катенах под искусственными насаждениями лиственницы сибирской (*Larix sibirica*), вяза приземистого (*Ulmus humilis*), и целины, расположенных по геоморфологическому профилю на склоне юго-восточной экспозиции крутизной 1.5—2.0°, который обращен и примыкает к озеру Шира.

В каждой катене работали на трех точках элементов рельефа, сопряженных по геоморфологическому профилю: вершина склона (автономная), середина склона (трансэлювиальная) и подножие склона (элювиально-аккумулятивная). Почвы объектов исследования — агроземы аккумулятивно-карбонатные темные, которые в основном формируются из черноземов обыкновенных с укороченным гумусовым горизонтом.

Общее строение профилей почв объектов следующее AU_{pa} (PA)-BCAdc-Cca. Макроморфологическое описание почв в разрезах верхней и срединной точек катен на целине свидетельствует об образовании дернины мощностью до 5 см и увеличении мощности гумусово-аккумулятивного горизонта с выраженной комковато-творожистой структурой. У подножия склона в нижней точке катены на контакте с береговой линией озера мощность профиля почвы минимальная, дерновый горизонт не сформирован, структура невыраженная, отмечается бурное вскипание по всему профилю. Максимальная мощность подстилки в катене под искусственными насаждениями лиственницы сибирской зафиксирована в средней части склона (4 см), она дифференцирована на два подгоризонта по степени разложения. Слой подстилки на контакте с минеральной частью почвы густо пронизан грибным мицелием и отчетливо

обнаруживается микоризация корневых окончаний лиственницы. Здесь же установлена самая высокая мощность гумусово-аккумулятивного горизонта, которая вместе с переходным составляет 38 см.

Структура в верхних слоях почвы всех точек катены под лиственницей, по сравнению с целиной, потеряла творожистость и приобрела неясную комковатость и пылеватость. Отмечено такое же вскипание от карбонатов, как на целинном участке. В точках катены под вязом подстилка не формируется (вершина и подножие склона) или она слабо выраженная фрагментарная (середина склона). Мощность гумусово-аккумулятивного горизонта в средней точке катены под вязом максимальная (около 34 см) с хорошо выраженной комковато-плитчато-слабоореховатой структурой. Снижается линия бурного вскипания от карбонатов. У подножия склона этой катены обнаружены признаки оглеения.

По геоморфологическому профилю целинного участка максимальное содержание гумуса обнаружено в верхней точке (10.9%). Существенно снижается содержание гумуса в транс-элювиальной точке катены, расположенной в средней части склона. У подножия склона катены на целине содержание гумуса вновь увеличивается, что указывает на его биогенную аккумуляцию. Самое низкое содержание гумуса установлено в верхней и нижней точке катены под лиственницей (от 5.9% до 0.9% в разных генетических горизонтах). Это свидетельствует о более интенсивной минерализации гумуса за счет развития комплекса бактериально-грибной микрофлоры. В катене под лиственницей максимальное содержание гумуса и более глубокий гумусовый профиль обнаружен в средней части склона. Под насаждениями вяза содержание гумуса в верхних горизонтах почвы ниже по сравнению с целиной, но выше по сравнению с лиственницей. Здесь наиболее гумусирована почва в нижней точке катены, где содержание гумуса составляет 9.0%, что также указывает на его биогенную аккумуляцию. Закономерности содержания и распределения валовых форм азота по профилям почв тесно связаны с таковыми по гумусу, что вполне закономерно.

Запасы надземной сырой и воздушно-сухой травянистой фитомассы снижаются вниз по склону катены на целине, при первом сроке учета. Аналогичное изменение запасов травянистой фитомассы установлено в точках катены под вязом. В насаждениях лиственницы максимальные запасы надземной фитомассы в этот срок обнаруживаются в средней части склона, что свидетельствует о благоприятных условиях произрастания здесь травянистой растительности. Незначительное нарастание фитомассы от первого ко второму сроку наблюдается только на целине. Установлено резкое снижение запасов травянистой фитомассы во всех точках катены под загущенными посадками лиственницы, за счет отмирания надземной травянистой массы и слабого нарастания новой из-за хвойного опада, формирования хорошо выраженной подстилки, затененности и интенсивного расходования влаги древостоями. Отмечается угнетение развития травянистой растительности под пологом лиственничных насаждений. Несколько снижаются запасы фитомассы ко второму сроку учета в посадках вяза. Однако, они почти в два раза выше, чем под лиственницей. Это свидетельствует о благоприятных условиях формирования травянистой растительности под разреженными посадками вяза, где интенсивнее процессы минерализации органического вещества, о чем свидетельствует формирование фрагментарной подстилки. В целом запасы фитомассы травянистой растительности во всех точках катен оцениваются как относительно высокие, что дает основание сделать заключение о формировании здесь экологически устойчивых биоценозов, выполняющих почвозащитную функцию.

Таким образом, самую существенную буферную роль играют фитоценозы на элементах рельефа, расположенных в срединных частях склонов, примыкающих к озеру. Максимальное экологическое почвозащитное и водоохранное значение имеют целинные участки с довольно богатым травяным напочвенным покровом. Искусственные насаждения лиственницы сибирской и вяза приземистого проявляют положительное воздействие на свойства почв за счет биогенной аккумуляции гумуса и валового азота, образования подстилки, особенно в средней части склона. Эти посадки не оказывают почвоухудшающего воздействия, выполняют средообразующую, санитарно-гигиеническую и эстетическую функции.

ЭКОЛОГО-КУЛЬТУРНЫЕ ФУНКЦИИ ПОЧВ ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРИРОДНОГО ЗАПОВЕДНИКА «ШУЛЬГАН-ТАШ»

Сулейманов Р.Р.
ИБ УНЦ РАН, Уфа
soils@mail.ru

Государственный природный заповедник «Шульган-Таш» образован в 1959 г. Как Прибельский филиал Башкирского государственного природного заповедника, который был учрежден 6 сентября 1929 года. Постановлением Совета Министров РСФСР от 6 января 1986 года №9 эта территория получила статус самостоятельного государственного заповедника «Шульган-Таш».

Заповедник находится в горной области Южного Урала между двух рек — Белая и Нугуш на западе Бурзянского административного района Республики Башкортостан, протяженность с севера на юг составляет 26 км, с запада на восток — 15 км, общая площадь составляет 22.5 тыс. га. В соответствии с физико-географическим районированием территория заповедника отнесена к Нугушско-Бельскому району, Инзерско-Бельской низкогорной широколиственной подпровинции горно-лесной провинции, расположенной в северо-западной и центральной частях горной области Южного Урала. Рельеф хребтово-увалистый с варьированием высот от 400 до 600 м над уровнем моря с максимальной высотой — 706 м. Климат характеризуется как умеренно холодный. Почвообразующими породами являются доломиты, известняки, песчаники, кварциты и сланцы.

Основное направление деятельности: сохранение и изучение природного комплекса широколиственных лесов (находящихся на восточной границе своего распространения), башкирской бортовой пчелы и бортового пчеловодства, а также природного и культурного памятника — пещеры Шульган-Таш, где были обнаружены рисунки человека эпохи палеолита.

В целях комплексного управления природными ресурсами, совершенствования охраны природы и сохранения биологического разнообразия на территории Южного Урала в 2012 году был создан биорезерват «Башкирский Урал». В его состав вошли пять особо охраняемых природных территорий федерального и республиканского значения: заповедник «Шульган-Таш» и зона планируемого его расширения, национальный парк «Башкирия», природный парк «Мурадымовское ущелье», заказники «Алтын Солок» и «Икский».

Поскольку функционирование биорезервата включает мониторинговые исследования по изменению климата и растительности, то на территории заповедника «Шульган-Таш» были заложены площадки в травяных сообществах. В зависимости от инсоляции, типа растительности, характера рельефа, почвообразующих пород были выделены следующие типы почв: на нижних и средних участках остепененных склонов формируются органо-аккумулятивные остаточно-карбонатные глинисто-иллювирированные, а под лесными полянами — темно-серые почвы, на вершинах и верхних склонах гор в условиях низкопродуктивного редколесья — карболитоземы и литоземы темногомусовые, в долинах рек под лугами — аллювиальные почвы.

Как уже отмечалось выше, в пещере Шульган-Таш были обнаружены рисунки человека эпохи палеолита. Проведенные почвенно-археологические исследования показали, что стоянки древних людей были обнаружены в долине реки Белая на аллювиальных почвах и в нижнем участке склона на темно-серой почве под осиново-березовым злаково-широколистным лесом.

Таким образом, почвенный покров государственного природного заповедника «Шульган-Таш», с одной стороны выполняя экологические функции по изучению изменения окружающей среды под воздействием природных факторов, а с другой стороны — культурные функции по изучению эволюции человеческого общества со времен палеолита, требует особого отношения, изучения и охраны.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант №11-05-97017-р_поволжье_а

**СЕКЦИЯ 5. АНТРОПОГЕННОЕ ВЛИЯНИЕ КАК ФАКТОР
ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ ЛЕСНОГО ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА**

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТРАНСФОРМАЦИИ ОПАДА РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ РАСТЕНИЙ В ЕЛЬНИКАХ В УСЛОВИЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Артемкина Н.А., Горбачева Т.Т.
ИППЭС КНЦ РАН, Апатиты
artemkina@inep.ksc.ru

Разложение растительного опада является одним из основных процессов, регулирующих круговорот углерода, элементов питания и формирование органогенного горизонта в бореальных лесах. Целью данной работы являлось изучение особенностей потери массы шести видов опада, а также непосредственно лесной подстилки, отобранных на разных стадиях деградации еловых лесов, вызванной воздушным промышленным загрязнением. Расположение объектов исследования на территории Кольского полуострова: фоновая территория (200 км от медно-никелевого комбината «Североникель»), дефолирующие леса (30 км) и техногенное редколесье (7 км). Полевой эксперимент проводился в межкрупных пространствах ельников на протяжении трех лет с использованием пакетного метода. Особое внимание уделялось динамике содержания лигнина, а также фенольных соединений (ФС).

Общая потеря массы опада. По уровню общей потери массы в фоновых условиях за трехгодичный цикл опад можно расположить в следующий ряд: листья *Vaccinium vitis-idaea* L. (51,3%) > хвоя *Picea obovata* L. (50,4%) > листья *Betula pubescens* Ehrh. (45,3%) > листья *Empetrum hermaphroditum* Hager. (43,5%) > листья *Vaccinium myrtillus* L. (34,3%) > древесина *Picea obovata* L. (13,3%) > кора *Picea obovata* L. (10,8%). Техногенная нагрузка может, как затормаживать, так и усиливать темпы потери массы, причем за трехгодичный период отмечен нелинейный характер изменений по отношению к ее уровню. Так, потеря массы листьев *Vaccinium myrtillus* L. и *Betula pubescens* Ehrh. несколько выше в дефолирующих лесах, чем в фоне (39% против 34%; 57% против 45% соответственно). Потеря массы хвои *Picea obovata* L. соизмерима в дефолирующих лесах и техногенном редколесье (33,6 и 31,4% соответственно) против 50,4% в фоне. Для листьев *Empetrum hermaphroditum* Hager. установили постепенное снижение уровня потери массы в дефолирующих лесах и техногенном редколесье по сравнению с фоном в 1,6 и 2,7 раз соответственно. Потеря массы листьев *Vaccinium vitis-idaea* L. близка в фоне и дефолирующих лесах (51,3 и 49,4% соответственно) и значительно снижается в техногенном редколесье (31,7%). Что касается подстилки, то в ходе эксперимента отмечено явно выраженное компенсирующее действие компонентов выбросов на потерю массы подстилки. Так, в фоне потеря массы составила 73%, в дефолирующих лесах — 55%, тогда как в техногенных редколесьях наблюдалось повышение массы по сравнению с исходной, и основной причиной предполагается сухое осаждение компонентов выбросов.

Динамика содержания фенольных соединений в фоновых условиях. Ряд потери массы ФС в фоновых условиях несколько отличается от приведенного выше ряда общей потери массы. За трехлетний период потеря массы ФС соизмерима в листьях: *Vaccinium myrtillus* L. (97—99%), *Vaccinium vitis-idaea* L. (97—98%), *Betula pubescens* Ehrh. (около 95%), в хвое *Picea obovata* L. (90—91%). Уровень исходного содержания ФС в опаде следующий: листья *Vaccinium vitis-idaea* L. (94,5—113,0 мг/г) > листья *Vaccinium myrtillus* L. (72,0—99,3 мг/г) > хвоя *Picea obovata* L. (67,7—85,3 мг/г) > листья *Betula pubescens* Ehrh. (23,8—46,5 мг/г) > листья *Empetrum hermaphroditum* Hager.

(13.0—17.8 мг/г) > подстилка (0.7—4.9 мг/г). Установлено, что наибольшая потеря ФС из опада происходит в течение первого года деструкционного цикла, и указанные соединения наиболее активно вымываются из опада, характеризующегося максимальным содержанием в исходном образце. Существенно меньшие потери ФС отмечены для листьев *Empetrum hermaphroditum* Hager. — 57—66%, и, как показано выше, для этого вида опада характерно минимальное содержание ФС. За трехлетний деструкционный цикл содержание ФС в разных видах опада резко снижается до уровня содержания в подстилке (0.7—4.9 мг/г) за счет потери наиболее легкогидролизующихся форм и в целом стабилизируется. Хотя для подстилки также свойственна потеря ФС, но происходит она медленнее, чем в активной части опада (за трехлетний период потеря массы ФС в подстилке составила не более 19—25%). Влияние техногенного загрязнения на динамику содержания фенолов. Несмотря на то, что устойчивость растений к стрессовым факторам связывают с повышением уровня содержания вторичных метаболитов, при увеличении техногенной нагрузки нами отмечено накопление ФС в исходных образцах листьев *Vaccinium myrtillus* L. и хвое *Picea obovata* L., но снижение в листьях *Betula pubescens* Ehrh, *Vaccinium vitis-idaea* L. и *Empetrum hermaphroditum* Hager. по сравнению с фоном. После прохождения трехгодичного деструкционного цикла максимумом суммы ФС характеризовалась стадия техногенного редколесья в отношении всех видов опада, за исключением *Betula pubescens* Ehrh. и подстилки.

Динамика содержания лигнина. По уровню исходного содержания лигнина в опаде можно предложить следующий ряд для фоновых условий: листья *Empetrum hermaphroditum* Hager. (36.4—42.0%) > подстилка (22.8—36.2%) > листья *Betula pubescens* Ehrh. (18.7—33.1%) > листья *Vaccinium myrtillus* L. (11.1—27.9%) > хвоя *Picea obovata* L. (15.7—18.4%) > листья *Vaccinium vitis-idaea* L. (11.7—15.7%). При приближении к источнику загрязнения отмечено накопление лигнина в исходных образцах листьев *Betula pubescens* Ehrh, *Vaccinium myrtillus* L. и *Empetrum hermaphroditum* Hager. и снижение его содержания в листьях *Vaccinium vitis-idaea* L. В хвое *Picea obovata* L. и подстилке определенных тенденций в изменении количества лигнина в зависимости от интенсивности загрязнения не выявлено. После прохождения трехгодичного деструкционного цикла максимальные концентрации лигнина характерны для всех видов опада, за исключением хвои *Picea obovata* L. и подстилки, на стадии техногенного редколесья. В отношении динамики содержания лигнина отмечена тенденция, противоположная динамике ФС, а именно значительное накопление лигнина в первый год разложения опада за счет вымывания водорастворимых и легкогидролизующихся веществ, к которым относится этанольная фракция. В течение трехлетнего периода содержание лигнина в опаде относительно стабилизировалось, причем наибольшее накопление наблюдалось в листьях *Vaccinium vitis-idaea* L. (35.5—59.2%) и листьев *Betula pubescens* Ehrh (46.2—55.8%), а далее следовал ряд убывания: > листья *Vaccinium myrtillus* L. (33.5—54.9%) > листья *Empetrum hermaphroditum* Hager. (41.4—48.6%) > хвоя *Picea obovata* L. (29.1—47.0%) > подстилка (23.6—41.3%). Следует отметить, что количество лигнина в ходе деструкционного цикла у листьев *Empetrum hermaphroditum* Hager. и подстилки практически не изменялось по сравнению с исходным содержанием.

В ходе проведенного трехлетнего полевого эксперимента отмечена потеря массы активной части опада на 40—50%, в том числе за счет вымывания легкогидролизующихся фенольных форм, при стабилизации содержания лигнина на уровне 40—50%. Установлен нелинейный характер изменения значений потери массы опада в условиях влияния

техногенной нагрузки различной степени интенсивности. При приближении к источнику загрязнения происходит накопление лигнина и фенольных соединений в разлагающемся опаде большинства исследованных видов.

Работа поддержана грантом Программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Живая природа: современное состояние и проблемы развития» (подпрограмма «Динамика лесных экосистем») и грантом РФФИ 13-04-01644.

ТОРФЯНЫЕ ПОЧВЫ КАК ИНДИКАТОР ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Ахметьева Н.П.¹, Михайлова А.В.²
¹ИВП РАН, Москва, ²ГЕОХИ РАН, Москва
xemafiltra@ya.ru

Торфяные болота благодаря высокой сорбционной способности торфа являются аккумуляторами большинства химических элементов. В процессе торфообразования концентрируются элементы, присутствующие в окружающей среде. Консервируются элементы и от промышленных предприятий, золоотвалов, свалок бытовых и промышленных отходов, от крупных пожаров. Содержание тяжелых металлов и микроэлементов в торфе мало изучено. Особенно это касается содержания металлов по разрезу торфяной залежи, от верхних до базальных слоев торфа. Детальное послойное изучение состава торфа может дать объяснение процесса его образования, палеогеографической обстановки, в которой накапливался торф. Обнаружение высоких содержаний металлов, а также углеводов или биогенных веществ в верхних слоях торфа, может свидетельствовать о неблагоприятной экологической обстановке времени формирования этих слоев. Сделать заключение о содержании элементов, а тем более об их увеличении, часто затруднено, как правило, из-за отсутствия источника сравнения. В наших исследованиях для сравнения использованы данные, полученные в 1968—1972 гг. под руководством В.Н. Крештаповой [1]. В эти годы трест Геолторфразведка министерства геологии РСФСР совместно с территориальными геологическими управлениями выполнили работы по определению металлов в торфе. Было опробовано 192 торфяных месторождения Европейской части России, отобрано около 3.5 тыс. проб торфа. Спектральный анализ золы торфа на 14 элементов (Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Sr, Y, Zr, Mo, Pb и Ba) и химический анализ на германий выполнены по всем пробам. Авторы исследовали торф, отобранный в 2010 и 2011 гг. на болотных массивах Московской и Тверской областей. В Московской области — это болото Радовицкий мох Шатурского района, подвергшееся сильным пожарам в эти годы. В Тверской области — это Изоплит, Галицкий мох и Озерецко-Неплюевское. Интересно отметить, что во время проведения работ В.Н. Крештаповой [1] эти массивы интенсивно разрабатывались в течение 45 лет, а в нашем случае — они были полностью выработаны, заросли лесом и охвачены пожарами в 2010-2011 гг.; у В.Н. Крештаповой проанализированы образцы негорелого торфа.

Нами проанализировано около 100 проб, отобранных с различной глубины. Сравнивали экспериментальные данные с полученными ранее результатами [1] и между собой: содержание металлов в золе горелого и негорелого торфа. Схема анализа: пробу воздушно-сухого торфа сжигали в муфельной печи при 800°C. Далее для анализа полученной золы, переведенной в раствор, применяли метод масс-спектрометрии с

индуктивно связанной плазмой (МС-ИСП). Калибровочный раствор готовили разбавлением соответствующих стандартов ("Panreac" Испания и "Ultra Scientific" и "Perkin-Elmer" США) [2].

Для площадки Галицкий мох наблюдается значительное повышение концентрации ванадия (до 413 мг/кг; у Крештаповой максимальное значение 17.8 мг/кг) и хрома (до 83.6 мг/кг; у Крештаповой — 12.0 мг/кг). Менее резкое повышение наблюдается для кобальта (до 3.77 мг/кг; у Крештаповой — 2.0), никеля (до 40.0 мг/кг; у Крештаповой — 17.8), цинка (до 50.0 мг/кг; у Крештаповой — 17.8), циркония (до 300 мг/кг; у Крештаповой — 126.2), молибдена (до 7.39 мг/кг; у Крештаповой — 6.3), свинца (до 10 мг/кг; у Крештаповой — 2.6). По титану, марганцу и меди в данном случае превышений нет. В 2010 г. эта площадка подверглась длительному пожару; дожди августа 2010 года несколько притушили горение торфа на поверхности, но подземное тление не прекращалось. Особенность расположения торфяника Галицкий мох — это близость пос. Редкино, где Редкинский завод с 1920-х по 1990-е годы был градообразующим предприятием. С 1950-х гг. он получает статус опытного завода при Министерстве нефтяной промышленности СССР и выпускал различную химическую продукцию от искусственного жидкого топлива до кремнийорганических мономеров и полимеров. В 1991 году ПОЗ был реорганизован. Сегодня на его промышленной площадке действует несколько предприятий. В предвоенные годы Редкинский завод превратился в торфохимический комбинат, состоявший из коксозавода и торфоразработок, эксплуатирующих торфяное болото Галицкий Мох. В настоящее время в поселке действуют заводы: железобетонных изделий, по производству сайдинга, стеклохолста. Также работают опытное конструкторское бюро автоматики (автоматизация и механизация химико-технологических предприятий и производств), Редкинский опытный завод (проведение опытных работ в области элементоорганического синтеза и пиролитических процессов).

Радовицкий мох — болото в юго-восточной части Мещерской низменности. Разработки торфа здесь начались в начале 20 века, а с 1919 г. стали интенсивно разрабатываться для проектируемой электростанции на торфе в г. Шатуре. В начале 1990-х годов торфодобыча практически прекратилась. На поверхности болота были оставлены бурты не вывезенного торфа высотой до 3-х метров; вся поверхность заросла лесом (ныне обгоревшим). Наши исследования проводились в марте и августе 2011 г. на западе болота близ сел Ольшаны и Радовицы и в центральной его части близ озера Негарь. Верхний слой торфяной залежи представлял собой золу ярко желтого цвета, пылевидную, сыпучую, мощностью 0.1—0.12 м. Ниже залегал обгоревший торф темно коричневого цвета, уплотненный, пластичный, переходящий в суглинок. С глубины 0.7 м — песок темно-коричневый, мелкозернистый, влажный, уровень болотных вод на глубине 0.7 м. Другой шурф, в 150 м от предыдущего, заложен на берегу озера Негарь. Здесь на поверхности залегал торф почти черный, уплотненный, незатронутый пожаром, без слоя золы. Проведено сравнение содержания металлов в этих трех образцах с [1]. Сильное увеличение наблюдается для Ti, V, Cr, Mn и Sr (данные приведены: max[1]/природный торф/горелый торф/обгорелый суглинок, в мг/кг) соответственно: 93.0/730.5/203.5/5.5; 3.1/66.82/58.35/3.95; 0.9/2.99/12.44/н.о.; 54.0/224.01/26.28/0.27 и 9.3/324.93/254.95/3.02. Для Co 0.2/3.4/0.69/0.01; Cu 1.9/30.3/6.74/0.12; Zn 5.4/11.14/1.89/н.о.; Ge 0.06/0.35/0.26/0.0073; Y 0.7/6.34/6.32/0.19; Zr 3.1/19.9/6.73/0.32; Mo 0.2/5.55/1.81/0.11; Pb 0.9/29.63/12.68/0.21.

Таким образом, показано, что имеет место концентрирование тяжелых металлов в лесные массивы, образовавшиеся по мере осушения болот.

Литература

1. Методические рекомендации по оценке содержания микроэлементов в торфяных месторождениях Европейской части СССР. М.Геолторфразведка, 1974. 200 с.
2. Сочетание дисперсионной жидкостно-жидкостной микроэкстракции РЗЭ с их определением методом МС-ИСП. XIX Молодежная научная конференция "Ломоносов", М.: МГУ, 2012. С. 56, http://lomonosov-msu.ru/archive/Lomonosov_2012/1932/Chemistry_all.pdf

СОСТАВ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПОЧВ КАРЕЛИИ НА РАЗЛИЧНЫХ СТАДИЯХ ИСКУССТВЕННОГО ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЯ

Бахмет О.Н.

ИЛ КарНЦ РАН, Петрозаводск
obahmet@mail.ru

Заготовка древесины является наиболее радикальной формой эксплуатации лесных ресурсов. Масштабы лесозаготовок, в частности в Карелии, достаточно впечатляющие — площадь вырубок второй половины XX века оценивается в 2/3 от всей лесной территории региона.

Известно, что преобладающие в таежных лесах сплошные концентрированные рубки оказывают большое влияние на физико-химические и биологические свойства почв. Множество работ, в том числе в Карелии, было посвящено изучению температурного и водного режимов почв вырубок, миграции основных питательных элементов, процессам денитрификации и др. Исследования касались также общего количества углерода и азота в почвах после рубки древостоя, однако они практически не затрагивали качественного состава органического вещества.

На вырубках при резкой смене экологических условий биохимические процессы трансформации органического вещества меняют свою направленность и интенсивность, изменяется и соотношение его лабильной и стабильной частей. Целью данной работы являлось определение содержания легко минерализуемых и медленно разлагающихся органических соединений после проведения сплошных рубок и его изменения в процессе лесовосстановления, соотношение которых определяет гумусное состояние почв. Исследования трансформации органического вещества почв проводили на пробных площадях в среднетаежной подзоне Карелии, представляющих собой различные стадии искусственного лесовосстановления. Пробная площадь № 1 представляла собой свежую вырубку после проведения сплошной рубки сосновых древостоев, пробные площади № 2, 3 и 4 - вырубки с посадками сосны, соответственно 7, 15 и 40 лет. Контролем послужила пробная площадь, заложенная в буферной зоне заповедника «Кивач» в спелом сосняке брусничном (170 лет). Почвы всех пробных площадей - подзолы, сформировавшиеся на песчаных флювиогляциальных отложениях.

Установлено, что после удаления древостоя особенно сильные изменения претерпевает лесная подстилка, биохимические процессы трансформации органического вещества замедляются, блок стабильных органических соединений (гемицеллюлозы, целлюлозы, лигнин) абсолютно превалирует над легко разлагаемыми. Под молодыми древесными культурами и травянистыми растениями в напочвенном покрове интенсивность минерализации органического опада резко возрастает, отмечается глубокая трансформация органического вещества, невысокое содержание таких

трудноразлагаемых веществ, как целлюлоза и, особенно, лигнина. С увеличением возраста древостоев происходит смыкание кронового пространства, изменяется состав напочвенного покрова, и, соответственно, изменяется характер и интенсивность поступления на поверхность почвы органического материала. Показано, что к 40-летнему возрасту культур сосны биохимический состав верхней части профиля почв близок к таковому в ненарушенных биогеоценозах.

МИКРООРГАНИЗМЫ ЛЕСНЫХ ПОЧВ И СОПРЕДЕЛЬНЫХ СРЕД ОБИТАНИЯ В ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ АЭРОТЕХНОГЕННЫХ ВЫБРОСОВ КОМБИНАТА «ПЕЧЕНГНИКЕЛЬ»

Евдокимова Г.А., Корнейкова М.В., Мозгова Н.П.
ИППЭС КНЦ РАН, Апатиты
galina@inep.ksc.ru

Цель работы: исследование свойств почв и разнообразия почвенной и воздушной биоты по градиенту загрязнения аэротехногенными выбросами медно-никелевого комбината «Печенганикель» (Мурманская область).

Отбор проб воздуха и почв выполнен по градиенту загрязнения (трансекте) в юго-западном направлении от комбината к заповеднику «Пасвик» с шагом 1—5 км, общей протяженностью 50 км. Отбор проб воздуха над площадками осуществляли автоматическим пробоотборником ПУ-1Б. Объем воздуха, забираемый на каждой площадке, составлял 250 л воздуха. Почвенные пробы брали из органогенного горизонта. Пробы воздуха и почв брали в 3 повторностях. Всего взято 52 пробы воздуха и 66 почвенных проб.

Известно, что воздушная среда обитания не благоприятна для развития микроорганизмов из-за недостаточного количества питательных веществ, ультрафиолетового облучения и нехватки влаги. Однако микроорганизмы способны длительный период сохранять свою жизнеспособность в воздухе. Главным источником загрязнения атмосферного воздуха является почва.

Полученные данные свидетельствуют о бактериальном загрязнении воздуха вблизи промышленного центра, чему немало способствует почва этих территорий, эродированная и без наземной растительности. По мере удаления от города число бактериальных клеток в воздухе снижалось, что свидетельствует о бактериологической чистоте воздуха в лесных экосистемах. В воздухе вблизи комбината доминируют Гр- бактерии (*Gracilicutes*), в воздухе удаленных участков — Гр+ бактерии (*Fermicutes*).

Количество грибов в воздухе вблизи города было ниже, чем на удаленных площадках в лесных экосистемах. Возможно, на чашки при заборе воздуха в лесу попадали эпифитные грибы, вовлекаемые потоком воздуха с поверхности растений. Вблизи промышленного центра в воздухе выявлены потенциально-патогенные грибы родов *Alternaria* и *Penicillium*. Почвы заповедника «Пасвик» и окрестных территорий принадлежат к двум типам отдела Al-Fe-гумусовых почв: подзолы (2 подтипа: иллювиально-железистые и иллювиально-гумусовые) и торфяно-подзолы (подтип иллювиально-гумусовые).

Распределение приоритетных загрязнителей Cu и Ni в почве четко следует градиенту расстояния от источника выбросов с высокой степенью репрезентативности

($R^2 = 0.953—0.964$). В юго-западном направлении загрязнение почв выбросами комбината «Печенганикель» распространяется до 20—25 км.

Значения pH почвы на всех апробированных участках леса находятся в кислотном диапазоне, изменяясь от 4.02 до 4.30. Однако вблизи комбината (до 3 км) почва менее кислая (значения pH, близки к 6.0) в связи с оседанием здесь из промышленной пыли ряда элементов, оказывающих нейтрализующее действие, в частности обменных катионов Ca и Mg.

По градиенту от источника выбросов была прослежена динамика численности, трофическое разнообразие бактерий и таксономическое разнообразие микроскопических грибов в почве. Распределение численности сапротрофных бактерий в почве хорошо согласуется с подобным показателем для воздушной среды. Относительно низкая продуктивность фитоценозов в высоких широтах и, вследствие этого, обедненность почв питательными элементами определяет олиготрофность микроорганизмов. Эта группа бактерий, довольствующихся малым количеством питательных элементов, наиболее представительна в исследованных почвах.

Грибы играют важную роль в процессах трансформации органического вещества в почвах, аккумуляции тяжелых металлов и снижении металлотоксикоза почв, выполняют средорегулирующие функции в почве. Четко прослеживается прямая зависимость численности грибов в воздухе от их содержания в почве.

Наши исследования дополняют выводы ряда микологов (О.Е. Марфенина, Е.В. Лебедева, Н.А. Киреева, А.В. Зачиняева) о возрастании доли потенциально-патогенных грибов (ППГ) в техногенно трансформированных почвах. Их доля от общего количества видов, выделенных из почв, загрязненных тяжелыми металлами, F-соединениями или нефтепродуктами возрастает на 15—20% относительно фоновых значений. К грибам, способным вызывать заболевания дыхательных путей, микозы и аллергические реакции относятся следующие виды, выделенные из изучаемых почв: *Acremonium rutilum* W.Gams, *Aspergillus fumigatus* Fresen., *A. niger* var. *niger* Tiegh., *A. terreus* var. *terreus* Thom, *A. ustus* (Bainier) Thom et Church, *Aureobasidium pullulans* (de Bary) G.Arnaud, *Cladosporium cladosporioides* (Fresen.) G.A. de Vries, *Oidiodendron flavum* Svlv., *O. griseum* Robak, *Penicillium aurantiogriseum* Dierckx, *P. canescens* Sopp, *P. chrysogenum* Thom, *P. glabrum* (Wehmer) Westling, *Talaromyces purpurogenus* (Stoll) Samson, Yilmaz, Frisvad, *P. simplicissimum* (Oudem.)Thom, *Phialophora melinii* (Nannf.) Conant, *Rhizopus stolonifer* (Ehrenb.)Vuill., *Trichoderma koningii* Oudem., *Tr. viride* Pers.

Численность водорослей, определенная методом прямого счета, в подстилке исследованных почв изменялась в пределах 0.5—3.5 млн. клеток в 1 г. В непосредственной близости к источнику выбросов их численность была в несколько раз ниже. Показано, что чувствительными к загрязнению почвы медью и никелем являются зеленые нитчатые формы и сине-зеленые водоросли. В водных культурах с 1% ионов Cu или Ni отмечено нарушение пигментации водорослей, измельчение клеток, интенсивное слизееобразование и даже лизис клеток. Основную массу составляют зеленые одноклеточные микроводоросли родов: *Chlamydomonas*, *Bracteacoccus*, *Klebsormidium*, *Interphylum*. Мы считаем, что для ранней диагностики изменившегося химического состава среды *in situ* почвенные микроорганизмы, обладающие высокой адаптационной способностью, мало пригодны. Микроорганизмы, обладая полифункциональностью, мощными ферментными системами, средорегулирующими функциями, способны

длительный период поддерживать стабильность своей организации при изменении условий среды обитания.

Почва, являясь мощным адсорбентом и нейтрализатором токсичных веществ, предохраняет свой микромир от их губительного действия. Этому способствует проявление максимальной активности почвенной микробиоты преимущественно на твердых частицах, покрытых гумусовыми пленками, а не в жидкой фазе, содержащей токсичные соединения в растворимой, наиболее доступной для живого форме (Т.В.Аристовская, 1980). Поистине, «почвенный покров является защитным экраном жизни на Земле» (В.А.Ковда).

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Живая природа: современное состояние и проблемы развития».

РИСКИ РАЗВИТИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ТУРИЗМА И ЕГО ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНЫЙ ПОКРОВ ПРИ ОБУСТРОЙСТВЕ ТРОПЫ К СТОЛБАМ ВЫВЕТРИВАНИЯ ПЛАТО МАНЬ-ПУПУНЁР (ПЕЧОРО-ИЛЫЧСКИЙ ЗАПОВЕДНИК)

Захаров Н.А.¹, Добрынин Д.В.², Семиколенных А.А.^{1,3}

¹МГУ имени В.М.Ломоносова, Факультет почвоведения, Москва,

²ИТЦ СКАНЭКС, Москва; ³ЦЭПЛ РАН, Москва

[k i t13@mail.ru](mailto:k_i_t13@mail.ru)

В рамках программы развития экологического туризма и просвещения на особо охраняемых территориях в России с 2008 года реализуются планы по обустройству экологической тропы в Печоро-Илычском биосферном заповеднике из бассейна р. Илыч к столбам выветривания на плато Мань-Пупунёр. Представлены сравнительные результаты обследования состояния экологической тропы в 2011 и 2013 году (в сравнении с предварительными данными 2009 года).

Современные взгляды на определение допустимых нагрузок на охраняемых природных территориях сводится к рассмотрению всего комплекса воздействия. Должны быть учтены сроки туристского сезона, целевые категории посетителей, виды туристско-рекреационных занятий и их экологические последствия, туристско-рекреационная инфраструктура, и только потом — количество групп посетителей и количество человек в каждой группе. Необходимо учитывать, что негативное воздействие групп посетителей на природную среду зависит не столько от их количества, сколько от их поведения (Чижова, 2007). В.П. Чижовой (Чижова, 2007) для расчета допустимых нагрузок на экологические тропы рекомендован метод постепенного повышения нагрузки, параллельно с комплексным мониторингом состояния окружающей среды для определения граничных показателей состояния ее компонентов.

Ранее отмечалось (Соколов, Зеликов, 1982; Лысиков, Судницына, 2008), что постоянная нагрузка на лесные сообщества в 10 чел./день на 1 га приводит к изреживанию подлеска, нарушениям подстилки на ширину до 10 метров вдоль троп. Плотность почвы возрастает на 0.3—0.4 г/см³. При увеличении нагрузки до 15 чел на 1 га в день происходит полное уничтожение напочвенного покрова и частично подстилки. Дальнейшее увеличение нагрузки приводит к тому, что сеть тропинок начинает превышать 50% земельного участка, почва уплотняется до величины 1.5—1.7 г/см³ на

глубину более 30 см. Для суглинистых дерново-подзолистых почв в условиях рекреационной нагрузки плотность верхнего горизонта может составлять соответственно: 0.7 г/см³ — фоновое значение, 0.8—0.9 г/см³ — 1-я стадия деградации, 1.0 г/см³ — 2-я стадия деградации, 1.1—1.5 г/см³ — 3-я стадия, и более 1.5 г/см³ при наивысшей степени деградации (Карпачевский, 1981).

Кроме изменения физических свойств изменяются также гидротермические, химические и биологические свойства почвы под тропинками. Диффузия воды и воздуха в почве снижается, в то же время из-за сильного переуплотнения возможно поверхностное переувлажнение, сопровождающееся оглеением и развитием восстановительных процессов.

Отмечается также, что в хвойных лесах при нарастании рекреационной нагрузки увеличивается содержание обменного кальция и происходит общее подщелачивание (Марфенина и др., 1984), что авторы связывали с уменьшением поступления кислого хвойного опада на поверхность вытаптываемых участков (отбрасывание в сторону, втаптывание и др.). Лысиков и Судницына (2008) также отмечают увеличение pH в верхних горизонтах при сохранении более низких значений в горизонтах В. Эти же авторы отмечают снижение запасов азота на нарушенных участках по сравнению с фоновыми участками как за счет уменьшения запаса подстилок, так и за счет снижения валовых значений азота в сухом веществе подстилок (в среднем: фон — 1.15%, тропа — 0.8 %)

Полевое обследование почвенного покрова проводилось маршрутным методом — для всей тропы; выявленные процессы фиксировались методами эскизного картографирования и фотографирования. Степень деградированности почв определяется по бальной шкале, с использованием "Методики определения размеров ущерба от деградации почв и земель" (утверждена Минприроды России 11.07.1994., Роскомземом 08.07.1994). В качестве контурной основы карты схемы тропы использовались материалы дешифрирования фрагмент кадра космического снимка Landsat залета от 12.09.2001. В местах наибольшей деградации почвенного покрова в первый год экологического мониторинга заложены контрольные площадки фиксированной площади. Площадки размечены по углам маркерами. На площадках производится количественный учет деградированных площадей по годам в динамике методов фотографирования с высоты 3 метра (с поднятием камеры раздвижным шестом).

Большая часть маршрута вдоль тропы проходит по территории нарушенной пожарами в прошлом. Прослеживается наличие как минимум двух пирогенных контуров: возрастом около 50 лет и более молодой. На протяжении больших участков тропа проходит по почвам с мощными оторфованными подстилками. Вытаптывание и разбивание мохо-торфяного покрова приводит к формированию на относительно сухих участках — глубоких ложбин, а на болотных участках — водно-торфяной суспензии с пониженной несущей способностью, что приводит к образованию параллельных троп и проходов, так как проходящие люди ищут более удобные проходы. Это представляет серьезный риск бесконтрольного расширения тропы в стороны и вытаптывания прилегающих к тропе участков леса. При близком подстилании водоупорных суглинков на разбитых участках троп может формироваться русло временного ручья и очаги прогрессирующего заболачивания. Опасность неблагоприятных явлений возрастает при высокой влагообеспеченности в некоторые года и сезоны (снеготаяние, продолжительные дожди). Негативное воздействие на леса заповедника связаны с заготовкой дров для нужд посетителей. Часть стоянок расположена в долинах ручьев, где сухостойные

деревья редко встречаются. В случае большого потока посетителей возникает проблема заготовки дров вокруг оборудованных стоянок и как следствие рубки на сопредельных участках леса. Важнейшая опасность для природы заповедника в целом, связана с пожароопасностью лишайниковых тундр. Воспламенение лишайника возможно в результате неаккуратного обращения с огнем в особо сухие сезоны. В этом случае огонь может беспрепятственно распространиться по границе безлесной зоны. По нашему мнению следует также уделить повышенное внимание обращению с пищевыми продуктами и бытовым мусором. Оставленные в местах оборудованных стоянок консервы могут привлекать диких животных, в том числе бурого медведя.

Литература

1. Лес и лесные почвы. М., Лесная промышленность, 1981.
2. Воздействие рекреации на состояние почвенного покрова лесных биогеоценозов С. Влияние нормированных рекреационных нагрузок на свойства бурых лесных почв // Вестник МГУ. Сер 17 (почвоведение). 1984. №3, стр. 52-58.
3. Изменения свойств почв в лесных биогеоценозах с высокой рекреационной нагрузкой // Лесоведение. 1982. №3, стр. 16-22.
4. Основные принципы нормирования нагрузок // В книге: Тропа в гармонии с природой". Сборник российского и зарубежного опыта по созданию экологических троп. М.: "Р.Валент", 2007.

МИКРОБНЫЙ КОМПОНЕНТ ПОЧВ, ЕГО ДЫХАТЕЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ И СТРУКТУРА В СОПРЯЖЕННОМ РЯДУ ЛЕС-ПАШНЯ-УРБОЭКОСИСТЕМА

Ивашенко К.В.¹, Васенёв В.И.², Ананьева Н.Д.¹

¹ ИФХиБПП РАН, Пущино, ² РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, г. Москва
ivashchenko-kv@rambler.ru

Лесные почвы обладают выраженными буферными свойствами, «смягчающими» различные нарушающие воздействия. В последнее время лесные территории значительно сокращаются (распашка, урбанизация), что ведет к изменению функционирования наземных экосистем. Так, в Московской области лесные и пахотные угодья занимают 1838 и 1773 тыс. га соответственно, а площадь земель поселений — растет (увеличение в 2 раза за последние 25 лет).

Микроорганизмы почвы составляют весомую долю (85%) всех почвенных организмов, обеспечивают почти 70—80% всего потока CO₂ суши в атмосферу и являются чувствительным индикатором различных нарушений. Наше исследование нацелено на выявление закономерностей распределения содержания почвенного микробного компонента, его дыхательной активности и структуры микробного сообщества почв в сопряженном ряду экосистем: лес-пашня-город разных районов Московской обл. (Сергиево-Посадский, СПа; Шатурский, Ш; Серпуховский, СР).

Районы исследования расположены на севере, востоке и юге области (54°48'23.9"—56°26'57.5" с.ш, 37°30'29"—39°39'3.9" в.д.). В каждом районе диагностировали экосистемы: лес (хвойный, смешанный), пашня (пшеница, кукуруза, картофель) и урбо- (газонные травы). В городах выбирали почвы в промышленной функциональной зоне: близ автомобильных дорог, промышленных предприятий, заправочных станций. В каждой экосистеме выделяли случайным образом пять

пространственно-удаленных точек, из которых отбирали (метод «конверта») почвенные образцы буром из верхнего 10 см минерального слоя (всего 45, сентябрь 2011).

В образцах почвы определяли содержание углерода микробной биомассы ($C_{\text{мик}}$) методом субстрат-индуцированного дыхания (СИД), основанного на регистрации начального максимального дыхания почвы (через 3—5 ч) после внесения в неё дополнительного субстрата (раствор глюкозы, 10 мг г⁻¹). Базальное (микробное) дыхание (БД) почвы оценивали по скорости образования CO_2 нативной почвой (24 ч). Рассчитывали «интегральные» показатели функционирования микробного сообщества почвы: а) удельное дыхание микробной биомассы (q_{CO_2}), выраженное отношением БД/ $C_{\text{мик}}$ (иллюстрирует экофизиологический статус микробного сообщества) и б) долю $C_{\text{мик}}$ в общем органическом углероде почвы ($C_{\text{орг}}$). Структуру микробной биомассы (грибы, Г/бактерии, Б) определяли методом селективного ингибирования СИД антибиотиками (стрептомицин сульфат — бактерицид, циклогексимид — фунгицид). Навески (2 г) для определения $C_{\text{мик}}$, БД и отношения Г / Б отбирали из прдынкубированной почвы (масса 0.2—0.3 кг, 7 сут, 22°C, 60% полной влагоемкости). В почвенных образцах определяли и содержание $C_{\text{орг}}$ питательных элементов (N, P, K), тяжелых металлов, ТМ (Pb, Cd, Zn, Ni, Cu), кислотность (pH) и гранулометрический состав.

Содержание $C_{\text{орг}}$ в почве изученных экосистем трех районов составило в среднем около 4%, питательных элементов (NO_3^- и P_2O_5) — было меньше в лесу (в 4 и 3 раза соответственно), чем на пашне. Содержание ТМ в почве урбозкосистем было значительно больше, чем на пашне и в лесу, однако оно не превышало уровень ориентировочно допустимой концентрации.

Содержание $C_{\text{мик}}$ и БД в почвах изученных р-онов широко варьировало (57—598 мкг С г⁻¹ и 0.13-3.08 мкг $\text{CO}_2\text{-C}$ г⁻¹ ч⁻¹), различие между наибольшей и наименьшей величинами составило 11 и 24 раза соответственно. Значение q_{CO_2} изменялось от 0.87 до 7.73 мкг $\text{CO}_2\text{-C}$ мг⁻¹ $C_{\text{мик}}$ ч⁻¹, а $C_{\text{мик}}/C_{\text{орг}}$ — от 0.29 до 1.91% (различие 9 и 7 раз соответственно). Показано, что в почве лесов содержание $C_{\text{мик}}$ составило в среднем 328 ± 76 мкг С г⁻¹, что было на 10—20% больше, чем на пашне и в урбозкосистеме (294 ± 106 и 266 ± 51 мкг С г⁻¹, соответственно). Скорость БД почвы лесов составила в среднем 1.22 ± 0.35 мкг $\text{CO}_2\text{-C}$ г⁻¹ ч⁻¹, что значимо выше (в 2.2 и 2.0 раза), чем таковое пашни и города (0.56 ± 0.05 и 0.63 ± 0.04 мкг $\text{CO}_2\text{-C}$ г⁻¹ ч⁻¹, соответственно).

Значение q_{CO_2} почвы лесов составило от 2.69 до 5.00, а пашен и городов — от 1.53 до 3.93 и от 2.25 до 3.38 мкг $\text{CO}_2\text{-C}$ мг⁻¹ $C_{\text{мик}}$ ч⁻¹ соответственно, средние величины которых значимо не различались. В почве лесов значение $C_{\text{мик}}/C_{\text{орг}}$ (иллюстрирует «качество» $C_{\text{орг}}$) составило 0.60—1.15%, что почти на 20% больше, чем в промышленной зоне урбозкосистем.

В почве леса и промышленной зоне города Сергиево-Посада ($C_{\text{орг}}$ 4.92 и 3.62, pH 3.8 и 7.0 соответственно) определяли структуру микробной биомассы. Проведена процедура оптимизации применения антибиотиков, которая была нацелена на наибольшее подавление СИД почвы бактерицидом, фунгицидом и их сочетанием. Показано, что бактерицид (от 0.6 до 90 мг г⁻¹) ингибировал СИД на 5—20%, а фунгицид (от 20 до 50 мг г⁻¹) — на 60—75%. Сочетание антибиотиков вызывало ингибирование СИД в этих почвах на 41—66%. Расчет отношения Г/Б был выполнен для вариантов, в которых коэффициент перекрытия активности антибиотиков составлял $1 \pm 5\%$. Выявлено, что доля микроскопических грибов в общей микробной биомассе почвы леса составила

77±0%, а города — меньше (63±5%). При этом, отношение Г/Б в почве леса составило 3.8, а в почве промышленной зоны в 2.7 раза меньше (1.4), что может свидетельствовать о существенной перестройке структуры микробного сообщества почвы при антропогенном воздействии.

Далее, рассчитали вклад почвы в продуцирование CO₂ разными экосистемами изученных районов (площадь экосистемы × БД). Наибольший вклад в продуцирование этого парникового газа (верхний 10 см минеральный слой почвы) выявлен для лесов (72—79%), меньший — пашен (8—22%), а наименьший — для урбоэкосистем (3—8%). Учитывая, что основное поглощение CO₂ из атмосферы наземными экосистемами России осуществляют леса (–289 714 тыс. тон/год), то их следует считать «стоком» этого парникового газа. Пахотные почвы — напротив, являются весомым источником CO₂ (+104 466 тыс. тон/год). Почвы урбоэкосистем, как правило, не учитывают в подобных балансовых расчетах. Поэтому есть основание полагать, что не только пахотные почвы, но и городские будут весьма ощутимым источником поступления двуокиси углерода в атмосферу. Таким образом, показано, что почвенный микробный компонент, его дыхательная активность и структура в условиях разного антропогенного воздействия (распашка, городская среда) подвержен существенным изменениям по сравнению с таковым «эталоном» — лесом. Изученные микробиологические параметры можно использовать как элементы экологического мониторинга почв, а также как индикаторы ее оптимального функционирования, а значит «здоровья» и «качества».

ВЛИЯНИЕ РЕКРЕАЦИИ НА СВОЙСТВА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ ЛЕСОПАРКОВ МОСКВЫ

Кузнецов В.А., Рыжова И.М., Стома Г.В.

МГУ имени М.В. Ломоносова, Факультет почвоведения, Москва
xts089@gmail.com

В настоящее время в связи с увеличением темпов роста урбанизации и расширением масштабов лесной рекреации особую актуальность приобретает изучение рекреационных лесов. Многочисленные исследования посвящены обсуждению разных аспектов этой проблемы. Важной составной частью изучения рекреационных лесов являются почвенные исследования, так как почвы играют важную роль в поддержании устойчивого функционирования лесов. Целью нашей работы является оценка изменений свойств дерново-подзолистых почв разного гранулометрического состава в зависимости от стадии рекреационной дигрессии.

В качестве объектов исследования были выбраны дерново-подзолистые почвы двух лесопарков Москвы: «Лосиный остров» и «Битцевский лес», различающиеся по гранулометрическому составу. В «Лосином острове» они более легкие — опесчаненные легкосуглинистые, а в «Битце» пылеватые легко- и среднесуглинистые. В зависимости от рекреационной нагрузки выделяют пять стадий дигрессии (Казанская, 1977). В каждом парке пробные площади размером 25х25 м были заложены на автономных элементах рельефа, на участках, характеризующих каждую из стадий дигрессии. В Битцевском парке растительный покров, на пробных площадях представлен липняками, а в «Лосином острове» елово-липняками. Свойства почв в лесу характеризуются

высокой внутрибиогеоценозной пространственной изменчивостью, обусловленной влиянием деревьев-эдификаторов, создающих мощные фитогенные поля (Карпаческий, 1977). Для ее учета образцы подстилки и почв отбирались методом заложения трансект (по 3 на каждой пробной площади). От ствола одного дерева до ствола другого по прямой линии закладывались точки отбора образцов почв и подстилки: у ствола, в середине проекции кроны и в межкрупном пространстве (окне). Подстилка отбиралась рамкой размером 25x25 см. Так как предыдущими исследованиями установлено, что влияние рекреационного воздействия на почвенные свойства ослабляется с глубиной, образцы почв отбирались из слоев 0—5, 5—10 и 10—20 см. На изучаемой территории дорожно-тропиночная сеть представлена тропинками трех типов по классификации Шапочкина и др. (2003), различающихся по ширине и площади проективного покрытия растениями. Чтобы определить свойства почв тропинок и ширину притропиночной зоны, испытывающей влияние тропинки, дополнительно были отобраны образцы почв на тропинках всех типов и на расстоянии 20, 50 и 100 см от них. Изменения почвенных свойств в результате рекреационного воздействия в первую очередь обусловлены поступлением продуктов урботехногенеза и вытаптыванием, поэтому для их оценки были выбраны следующие показатели: запас и кислотность подстилки; твердость, плотность сложения, влажность, содержание органического углерода, рН вод и электропроводность почв. Исследования проводились в соответствии с общепринятыми в почвоведении методами (Полевые и лабораторные методы исследования физических свойств, 2001; Воробьева, 1998). Статистический анализ полученных данных проводили с использованием программы Statistica 6.

Результаты проведенного анализа полученных данных выявили статистически значимые различия (с доверительной вероятностью 0.95) изучаемых физико-химических свойств почв тропинок с фоновыми значениями. В качестве «условно фоновых» значений были приняты средние, полученные по выборке для пробной площади на первой стадии дигрессии. Установлена зависимость свойств почв на тропинке от ее типа. С увеличением ширины тропинки увеличивается твердость, плотность сложения, содержание $C_{орг}$ и электропроводность почвы, а кислотность и коэффициент структурности снижаются. Ширина зоны влияния тропинки увеличивается от 20 см у слабовыраженных до 50 см у хорошо выраженных.

Для того чтобы оценить влияния рекреации на свойства дерново-подзолистых почв, мы провели дисперсионный анализ полученных данных. Сравнивались послонные выборки, при составлении которых для каждой стадии дигрессии учитывались типы тропинок и площадь, занятая тропинками и притропиночными зонами. В результате были установлены стадии дигрессии, на которых изменения почвенных свойств, обусловленные влиянием рекреации, превышают их пространственную изменчивость.

Высокой чувствительностью к рекреационному воздействию характеризуются твердость и структура почвы. Статистически значимые различия твердости почв и коэффициента структурности выявлены при переходе от первой ко второй стадии дигрессии. Содержание органического углерода в слое 0—5 см при переходе от первой к пятой стадии дигрессии увеличивается в почвах Битцы с 2.0 до 3.3%, а в более легких по гранулометрическому составу почвах Лосиногостовского острова с 1.8 до 2.9%. Статистически значимая разница по этому свойству установлена при переходе

к третьей стадии дигрессии. Для плотности сложения и влажности верхнего слоя почвы (0—5 см) она зафиксирована при переходе к четвертой стадии дигрессии. Запас подстилки увеличивается при переходе от первой ко второй стадии, а затем начинает падать, достигая статистически значимых различий при переходе к четвертой стадии в Лосином острове и пятой стадии в Битцевском лесопарке. Так же и по электропроводности верхнего слоя почвы (0—5 см) статистически значимая разница обнаружена при переходе на четвертую стадию в почвах «Лосиного острова», тогда как в почвах Битцевского лесопарка только при переходе к последней стадии дигрессии. Еще сильнее проявляются различия почв сравниваемых парков при анализе данных о кислотности. В Битце с возрастанием рекреационной нагрузки рН подстилки и верхнего минерального слоя (0—5 см) почвы увеличивается постепенно, изменяясь соответственно от 5.7 до 6 и 5.2 до 5.6. Статистически значимыми различия становятся при переходе к четвертой стадии для верхнего слоя почвы и пятой стадии дигрессии для подстилки. В «Лосином острове» под действием рекреации кислотность подстилки и почв тоже снижается (рН подстилки изменяется от 5.5 до 5.9, а верхнего минерального слоя почвы (0—5 см) от 4.3 до 5.1), но статистически значимые изменения происходят сразу при переходе от первой к второй стадии дигрессии.

Литература

1. Химический анализ почв. М.: Изд-во МГУ, 1998. 272 с
2. рекреационные леса. М.: Изд-во Лесная промышленность.1977. 96 с
3. Пестрота почвенного покрова в лесном биогеоценозе. М.: Изд-во МГУ, 1977. 312 с.
4. Полевые и лабораторные методы исследования физических свойств и режимов почв. Под ред. Е.В. Шеина. М.: Изд-во МГУ. 2001. - 200 с.
5. и др. Комплексная методика изучения влияния на экосистемы городских и пригородных лесов // Научные труды национального парка «Лосиный остров». М, 2003, вып.1. с. 12-28.

ВЛИЯНИЕ РУБОК ГЛАВНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ НА БИОТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС СРЕДНЕТАЕЖНЫХ ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ

Лаптева Е.М., Колесникова А.А., Таскаева А.А. Конакова Т.Н.,
Кудрин А.А., Виноградова Ю.А., Перминова Е.М.
ИБ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар
lapteva@ib.komisc.ru

Промышленные рубки оказывают существенное влияние на почвенную биоту. В результате смены растительности на вырубках меняются микроклиматические параметры формирующихся биотопов, что обуславливает снижение численности педобионтов на первых этапах послерубочных сукцессий и изменение их состава. Восстановление популяций на вырубках зависит от скорости регенерации микроместообитаний и от возможности расселения беспозвоночных с соседних участков (Fahrig, Merriam, 1994). Следует отметить, что при изучении влияния рубок на почвенную биоту лесных экосистем, как правило, каждая группа животных рассматривалась по отдельности. Комплексных исследований, особенно в подзоне средней тайги, учитывающих связь состава и численности различных групп педобионтов (почвенной мезофауны, коллембол,

клещей, нематод, микроорганизмов), их пространственного распределения с особенностями изменения свойств и режимов почв в хронологическом ряду вырубок до настоящего времени не проводилось, что и предопределило цель данной работы.

Объектами исследования послужили подзолистые суглинистые почвы коренного ельника черничного (ПП1) и вторичных разновозрастных лиственнично-хвойных насаждений, сформировавшихся после сплошнолесосечных рубок среднетаежных еловых чернично-зеленомошных лесов (ПП2 — вырубка 2001—2002 гг., ПП3 — вырубка 1969—1970 гг.). Детальная характеристика растительного покрова и почв ключевых участков представлена в работах (Путеводитель..., 2007; Дымов и др., 2012). Отбор почвенных проб для изучения численности и состава почвенной фауны и микробиоты проводили в 2012 г. В работе использовали стандартные методы почвенно-зоологических и микробиологических исследований. Для оценки функциональной активности микробных сообществ использовали метод мультисубстратного тестирования (Горленко, Кожевин, 2005).

В результате проведенных исследований не установлено резких различий в таксономическом составе почвенной мезофауны контрольного участка (ПП1) и естественно восстановленных насаждений на вырубках (ПП2 и ПП3). Во всех биотопах по численности доминируют хищные Lithobiidae и Cantharidae, сапрофильные Elateridae и фитофаги Coccidae. В тоже время, по сравнению со спелым ельником черничным, в почвах вырубок практически в 2 раза снижена как общая плотность населения мезофауны, так и численность отдельных таксонов. Характерной особенностью сообщества мезофауны подзолистой почвы коренного ельника является сбалансированность ее структуры как по соотношению численности отдельных таксонов, так и по соотношению трофических групп.

Численность микроартропод в почвах всех ключевых участков обусловлена высокой плотностью населения Oribatida и Collembola. На долю представителей Mesostigmata приходится всего 4.6—6.8% общей численности микроартропод. На ранних стадиях послерубочных сукцессий плотность населения панцирных клещей в почвах вырубок снижается в 4.5 раза по сравнению с коренным ельником, гамазовых клещей и коллембол — соответственно в 2.5 и 2.6 раза. В отличие от мезофауны, плотность населения которой спустя сорок с лишним лет после рубки (ПП3) остается на уровне «молодой» вырубки (ПП2), микрофауна достаточно быстро восстанавливает свою численность в ходе естественной сукцессии растительности: на участке ПП3 плотность населения коллембол приближается к показателям целинного ненарушенного леса.

Смена пород и изменение экологических условий на вырубках наиболее ярко отразились на численности и профиле распределения комплекса нематод. Восстановление древесной растительности на вырубках через формирование лиственных насаждений обусловило возрастание численности нематод с 1082 ± 374 экз./100 см³ в целинном лесу (ПП1) до 14548 ± 1638 экз./100 см³ на «старовозрастной» вырубке» (ПП3). При этом на вырубках отмечено смещение плотности населения нематод в нижние горизонты подстилок и верхний подподстилочный минеральный горизонт (особенно на участке ПП3).

Анализ спектров потребляемых микробными группировками субстратов (мультисубстратное тестирование) свидетельствует о наличии определенных различий в функциональной активности бактериальных сообществ ненарушенных подзолистых почв и почв вырубок. При общей тенденции увеличения количества потребляемых субстратов на вырубках, активность их потребления меняется в зависимости от генетического

горизонта. Отмечено снижение биологического разнообразия (индекс Шеннона) микробных сообществ в нижней части подстилки «молодой» вырубki (ПП2) и его последовательное восстановление в почвах «старовозрастной» вырубki (ПП3). Расчет коэффициента рангового распределения потребления субстратов (d) как меры дестабилизации системы, а также интегрального параметра общего благополучия системы (G) убедительно показал, что на ранних стадиях сукцессии на вырубках еловых лесов («молодые» вырубki) происходит дестабилизация микробных сообществ, функционирующих в подзолистых почвах, а на поздних («старовозрастные» вырубki) — последовательное их восстановление.

Таким образом, сплошнолесосечные рубки еловых лесов, формирующихся в подзоне средней тайги на типичных подзолистых почвах суглинистого гранулометрического состава, обуславливают не только изменение свойств почв и условий почвообразования, но и соответствующие изменения численности и соотношения различных групп почвенной биоты. Вырубка еловых лесов в биоклиматических условиях средней тайги отрицательно сказывается на составе и структуре сообществ педобионтов в первые годы послерубочной сукцессии и сохраняет влияние этого воздействия на поздних стадиях сукцессии.

Работа выполнена при поддержке программы фундаментальных исследований УрО РАН, проект №12-П-4-1065 «Взаимосвязь структурно-функциональной и пространственно-временной организации почвенной биоты с динамическими аспектами изменения подзолистых почв и почвенного органического вещества в процессе естественного восстановления таежных экосистем Европейского Северо-Востока после рубок главного пользования».

Литература

1. Мультисубстратное тестирование природных микробных сообществ. М.: МАКС Пресс, 2005. 88 с.
2. Растительный опад в коренном ельнике и лиственнично-хвойных насаждениях // Лесной журнал, 2012. №3. С. 7-18.
3. Путеводитель научной почвенной экскурсии. Подзолистые суглинистые почвы разновозрастных вырубок (подзона средней тайги). Сыктывкар, 2007. 84 с.
4. Conservation of fragmented populations // Conservation Biology, 1994. Vol.8. Pp.50–59.

ИЗМЕНЕНИЕ РАСТИТЕЛЬНОСТИ И ПОЧВЫ В ХОДЕ САМОВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ СУКЦЕССИИ В ПОДЗОНЕ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

Лиханова И.А., Арчегова И.Б., Кузнецова Е.Г.,
Панюков А.Н., Лаптева Е.М., Ковалева В.А.
ИБ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар
likhanova@ib.komisc.ru

Увеличение темпов нарастания нарушенных земель, в связи с активизацией промышленного освоения Севера, актуализирует изучение восстановительной сукцессии на посттехногенных территориях с учетом специфики климатических условий. Исследование особенностей влияния изменения растительности на процесс формирования почвы в ходе самовосстановительной сукцессии проводилось на территории стационара «17 км» Института биологии Коми НЦ УрО РАН (подзона средней тайги европейского северо-востока России). Наблюдение за самовосстановительной сукцессией ведется с 1996 года на техногенном суглинистом субстрате, оставшемся после реконструкции автодороги. Исследования начались на этапе сформированной травянистой экосистемы. В последующие годы разнотравно-злаковое сообщество колонизируется древесными растениями, т.е. развивается этап замещения травянистой экосистемы на лесную.

К началу третьего десятилетия самовосстановительной сукцессии (наблюдения 2012 г.) основная часть площадки стационарных наблюдений характеризуется молодым лесным сообществом. Многолетняя травянистая экосистема сохранилась только узкой, прерывистой полосой. Здесь доминируют, как и ранее, луговые злаки (*Agrostis gigantea* Roth, *Phleum pratense* L., *Dactylis glomerata* L., *Deschampsia cespitosa* (L.) Beauv., *Festuca pretense*, *Calamagrostis canescens* (Web.) Roth). Основной приход растительного материала (опад) на поверхность почвы, обусловленный отмиранием травянистых растений, составляет около 400 г/м² за год. Почва сохраняет еще прежнее строение луговой почвы, однако снижение обилия видов-задержателей проявляется в ослаблении слоя дернины.

В молодом лесном сообществе выражено парцеллярное строение древесно-кустарникового яруса. В парцелле с *Pinus sylvestris* L. высотой до 12 м присутствует подрост *Betula pendula* Roth, *B. pubescens* Ehrh., высотой 1—4 м и виды рода *Salix*. Высокая сомкнутость крон (до 0.8), низкая освещенность обуславливают угнетение травянистого яруса – его общее проективное покрытие (ОПП) — 20—30%. В напочвенном покрове сохраняются еще угнетенные луговые виды, но более обильны лесные и опушечные виды (*Fragaria vesca* L., *Prunella vulgaris* L., *Equisetum sylvaticum* L., *Rubus saxatilis* L., *Vicia sylvatica* L. и др.). Отмечены мхи — ОПП до 1 %. Основная доля поступающего на поверхность почвы растительного материала приходится на листовую опад древесно-кустарникового яруса — около 487 г/м² за год. Остатки травянистых растений составляют около 40 г/м². На поверхности почвы отмечено формирование листовенно-хвойной подстилки, мощностью 1—2 см.

В парцелле с *Betula pendula* высотой около 8 м сомкнутость крон — 0.7, ОПП травянистого яруса — 30—40%. Благодаря большей освещенности, в отличие от сосновой парцеллы, здесь сохраняется больше элементов лугового сообщества. Основная доля поступающих на поверхность почвы растительных остатков приходится на

лиственный опад древесно-кустарникового яруса — около 258 г/м² за год. За счет отмирания травянистых растений на поверхность почвы поступает около 100 г/м² растительной морт-массы. Горизонт подстилки составляет около 3 см.

Таким образом, в процессе самовосстановительной сукцессии на этапе замещения травянистой экосистемы лесной происходит закономерное изменение состава растительного сообщества и, соответственно, состава опада и условий его разложения. В травянистом сообществе растительные остатки (опад) за год разлагаются примерно на 50%. В молодом лесном сообществе опад древесно-кустарникового яруса разлагается за год на 40%, остатки травянистых растений теряют примерно 50% исходной массы. С изменением качественно-количественного состава биотической компоненты экосистем, емкости и характера биологического оборота органического вещества (растительных остатков) преобразуется продуктивный биологически активный слой субстрата. Постепенно разрушается луговая почва с характерным горизонтом дернины и оформляется горизонт лесной подстилки. Почва (ее строение и свойства) изменяется как компонент экосистемы в соответствии с конкретным типом растительного сообщества, его качественно-количественными характеристиками.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 3-04-98818 «Ускоренное восстановление лесных экосистем на посттехногенных территориях таежной зоны Республики Коми».

ДЕСТРУКЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОСТАТКОВ НА ВЫРУБКАХ ЕЛЬНИКОВ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ

Лиханова Н.В.
ИБ Коми НЦ УрО РАН
lihanad@mail.ru

В лесных экосистемах изменения, вызванные промышленными рубками, приводят к нарушению в них биологического круговорота веществ, где большую роль выполняют деструкционные процессы растительных остатков. Работ, освещающих состав и разложение опада, формирование лесной подстилки на вырубках после сплошнолесосечных рубок древостоев хвойных сообществ фрагментарны. Цель данной работы - оценка поступления, разложения растительного опада и формирования подстилки на вырубках ельников средней тайги.

Исследования проводили в подзоне средней тайги в Республике Коми на территории Чернамского лесного стационара Института биологии Коми научного центра УрО РАН (62°01' с.ш., 52°28' в.д.) в период 2009—2012 г.г. на вырубках ельников черничного влажного и долгомошно-сфагнового. Сплошнолесосечная рубка была проведена в зимний период 2006 г. На вырубке ельника черничного влажного на торфянисто-подзолисто-глееватых супесчаных на суглинках почвах количество растущих деревьев, оставленных в недорубе, составляет 400, сухостойных — 30 экз. га⁻¹. Равномерно распространенный подрост в количестве 7290 экз. га⁻¹ представлен в основном березой и елью. Вырубка ельника долгомошно-сфагнового на тех же почвах, что и вырубка ельника черничного влажного, с тонкомерными деревьями ели, сосны, березы и семенниками в количестве 588, сухостойными деревьями 212 экз. га⁻¹ и подростом (4413 экз. га⁻¹) березы и ели удовлетворительного состояния. Количество

опада растений древесного яруса определяли с помощью опадоулавливателей размером 50х50 см в 20-кратной повторности на каждом участке. Для оценки разложения опада в лесную подстилку закладывали растительные образцы в капроновых мешочках в пятикратной повторности.

Количество органической массы, поступающей в почву с опадом надземных органов и корней всех растений фитоценозов, на вырубке ельника черничного влажного составляет 3115, а долгомошно-сфагнового — 3608 кг га⁻¹. Выявлено, что в условиях средней тайги на вырубках ельников надземные органы формируют 55—60 % ежегодного опада. Распределение годичного древесного опада по фракциям в исследуемых вырубках довольно сходное: хвоя составляет 30—33, листья березы — 22—25, ветви — 15—19, корни — 12—15, кора — 1—5 %. На исследуемых вырубках ельников основную массу опада (89 %) образуют растения напочвенного покрова — преимущественно мхи и травянистые растения.

По интенсивности разложения в убывающем порядке следуют: листья березы > листья брусники > хвоя сосны > хвоя ели > мхи > ветви > кора. Показатель C/N косвенно характеризует степень разложения и гумификации растительных остатков. Наиболее интенсивно разлагаются листья березы, величина C/N которой составляет 35—38 %, у хвои ели и сосны она варьирует от 38 до 43, у ветвей древесных растений от 48 до 60, коры от 105 до 142.

Разложение подстилки наиболее активно в листовом подгоризонте (АО1) и составляет 17.3 на вырубке ельника черничного влажного, 15.4 % в год на вырубке ельника долгомошно-сфагнового. В ферментативном подгоризонте (АО2) за год разлагается 10.4 и 9.3 % соответственно. В гумусированном подгоризонте (АО3) разложение растительных остатков происходит еще медленнее (около 7 %). Невысокая скорость разложения растительных остатков способствует формированию мощной подстилки с общим запасом 43.2 на вырубке ельника черничного влажного и 63.9 т га⁻¹ долгомошно-сфагнового, что на 15—20 % меньше чем в ельниках до рубки.

СОСТОЯНИЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ И МИКРОБНОГО КОМПОНЕНТА ПОЧВЫ НА ЗАЛЕЖАХ В ЗАПОВЕДНИКЕ «КАЛУЖСКИЕ ЗАСЕКИ»

Москаленко С.В., Иващенко К.В., Бобровский М.В., Ананьева Н.Д.

ИФХиБПП РАН

moskalenkosvetlana@yandex.ru

В последние десятилетия происходит сокращение площади сельскохозяйственных угодий, которые в последние годы зарастают древесно-кустарниковой растительностью. Работа нацелена на изучение восстановительной сукцессии (зона широколиственных лесов, заповедник «Калужские засеки») через изменение растительного покрова и микробного компонента почвы. Объект исследования — растительность и почва залежей, а также примыкающей к ним дубравы. Залежи представлены зарастающими пашнями и пастбищами, которые расположены в массиве старовозрастного полидоминантного широколиственного леса (дубрава) с высоким видовым разнообразием. Сельскохозяйственная деятельность была прекращена примерно 30 лет назад; за это же время не было зафиксировано травяных палов.

Методы исследования. На залежи были заложены трансекты (протяженность около 80 м, 2011—2012 гг.), ориентированные перпендикулярно границе леса, вдоль которых на пробных площадках (100 м²) проведено полное геоботаническое описание растительности (всего 131) по ярусам (метод Браун-Бланке). Учитывали количество особей деревьев и древесных видов в составе подростка с измерением их биометрических характеристик (высоты и диаметра). Анализ структуры растительных сообществ был выполнен с использованием классификации эколого-ценотических групп растений (ЭЦГ), разработанной для Европейской России. Видовые названия сосудистых растений даны в соответствии со сводкой С.К. Черепанова.

Почвенные образцы отбирали по трансектам (4 и 3 — для бывших пашен и пастбищ соответственно), совпадающим с таковыми для геоботанических описаний. Локализация точек отбора почвенных проб по трансекте: 1) старовозрастный широколиственный лес (возраст некоторых деревьев достигает 300 лет); 2) березняк неморально-разнотравный (бывшая пашня) и березняк неморально-разнотравный (бывшее пастбище), 50—70 м от широколиственного леса; 3) центральная часть залежи: березняк разнотравный (бывшая пашня), лугово-опушечные сообщества (бывшее пастбище). Образцы почв отбирали (метод «конверта») в сентябре 2012 г., из верхнего (10 см) минерального слоя почвы. В почве определяли углерод микробной биомассы ($C_{\text{мик}}$) методом субстрат-индуцированного дыхания. Базальное дыхание (БД) почвы оценивали по скорости образования CO_2 нативной почвой. Рассчитывали отношение $\text{БД} / C_{\text{мик}} = q\text{CO}_2$ — микробный метаболический коэффициент или удельное дыхание микробной биомассы и долю $C_{\text{мик}}$ в органическом углероде почвы ($C_{\text{орг}}$).

Результаты. Сообщества старовозрастного широколиственного леса заповедника являются богатыми во флористическом отношении. Древесный ярус представлен: *Fraxinus excelsior*, *Acer platanoides* и *A. campestre*, *Quercus robur*, *Ulmus glabra*, *Tilia cordata*, кустарниковый — подрост этих же видов деревьев, а в составе подлеска — *Corylus avellana*, *Euonymus verrucosa* и *E. europaeus* и др. Травяно-кустарничковый ярус составляют виды теневой флоры: *Galeobdolon luteum*, *Asarum europaeum*, *Pulmonaria obscura*, *Stellaria holostea*, *Lamium maculatum* и др. Через 30 лет демулационных процессов на пашнях сформировался сомкнутый древостой из пионерных видов: *Betula pendula* и *B. pubescens*, *Salix caprea* (в целом сообщества относятся к березнякам) с хорошо развитым кустарниковым ярусом, в состав которого входят многочисленные виды подлеска и подростка деревьев, характерных для примыкающих участков широколиственного леса. На пастбищах древесно-кустарниковая растительность приурочена в основном к периферийной части, в средней — представлена лишь единичными особями или в виде скоплений. Численность деревьев в составе древостоя на периферии заброшенных пастбищ выше, чем таковое на пашнях, что можно объяснить процессом самоизреживания. Высокая численность подростка деревьев на пастбищах связана с присутствием высокой доли особей в имматурном онтогенетическом состоянии. В составе травяно-кустарничкового яруса на заброшенных пашнях и пастбищах встречены виды шести ЭЦГ травянистых растений. Участие видов преобладающих ЭЦГ (неморальной и лугово-опушечной) меняется при продвижении от границы широколиственного леса в сторону увеличения лугово-опушечной.

Диагностировали серую и дерново-подзолистую (преобладание дерново-подзолистой) почвы. Содержание $C_{\text{орг}}$ в почве составило 1.14—2.92%, причем его наибольшая величина была в дубраве. Содержание $C_{\text{мик}}$ в почве составило от 213 до 758 мкг С г⁻¹, а скорость БД — от 0.49 до 2.12 мкг CO_2 -С г⁻¹ ч⁻¹.

Содержание $C_{\text{мик}}$ и скорость БД почвы дубравы составили в среднем 605 ± 74 мкг С г⁻¹ и 1.55 ± 0.40 мкг CO₂-С г⁻¹ ч⁻¹ соответственно. В березняках разнотравных (бывшие пашни) значения этих показателей были в 1.7 и 1.9 раза меньше соответственно, чем в дубраве. В почве бывших пастбищ значения $C_{\text{мик}}$ близки к таковым в дубраве, а скорость БД — значимо ниже (в 1.3 раза). Микробный метаболический коэффициент q_{CO_2} отражает изменения устойчивости микробного сообщества и характеризует его экофизиологический статус. Значение q_{CO_2} в почве березняков и лугово-опушечных сообществ (бывшие пастбища) был в основном выше на 19—47%, чем таковое дубравы. В почве бывших пашен и пастбищ отношение $C_{\text{мик}}/C_{\text{орг}}$ (может служить показателем «качества» $C_{\text{орг}}$) ниже на 13—30% по сравнению с дубравой. Таким образом, отмечены сравнительно высокие темпы восстановления полидоминантного широколиственного леса на пашнях по сравнению пастбищами. На пастбищах произрастание семязачатков древесных видов затруднено из-за дерновины злаков. Содержание микробной биомассы в почве и ее дыхательная активность зависят от типа растительного сообщества, который, в свою очередь, определяется характером землепользования в прошлом. В почве бывших пашен эти параметры значительно ниже, что может свидетельствовать об ухудшении функционирования ее микробного компонента по сравнению с таковым бывших пастбищ. Очевидно, что на бывших пашнях деградация верхнего активного слоя почвы была более интенсивной (отторжение растительных остатков, механическое и химическое воздействие), чем на пастбищах.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 12-04-01734).

ВЛИЯНИЕ МОНЧЕГОРСКОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМБИНАТА НА ФОРМЫ МЕТАЛЛОВ (Cu, Ni, Pb, Cd) И СОСТОЯНИЕ МИКРОБНОГО СООБЩЕСТВА В ЛЕСНЫХ ПОЧВАХ

Пампура Т.В., Мякшина Т.Н., Благодатская Е. В.
ИФХиБПП РАН, Пущино
pampura@mail.ru

Целью работы было исследование влияния выбросов Мончегорского металлургического комбината на формы и концентрации металлов (Cu, Ni, Pb, Cd) а также состояние микробного сообщества в лесных почвах Кольского полуострова.

Объектами исследований послужили Al-Fe-гумусовых подзолы, расположенные в автономных позициях ландшафта по градиенту загрязнения в южном направлении от Мончегорского медно-никелевого комбината (МНК). Растительность представлена ельниками, соответствующими последовательным стадиям техногенной сукцессии: ельник кустарничково-зеленомошный - фоновый тип состояния (200 км от МНК), стадия начальной дефолиации (100 км), интенсивной дефолиации (28 км), затухающей дефолиации (20 км) и техногенное редколесье (7 км). Отбор почвенных образцов на каждом участке проводили у ствола, под кроной дерева и в межкроновом пространстве из органно-аккумулятивного (О) и минерального (В) горизонтов. Определяли различные формы металлов в почве: общее содержание (экстракция царской водкой), подвижные формы (экстракция 1М нитратом аммония), кислоторастворимые формы (0.43М HNO₃). Металлы в экстрактах определяли на приборе ICP-MS HP 4500plus.

В разных типах почвенных растворов (лизиметрических водах, водной вытяжке при 100% ппв, 0.002M CaCl₂ экстракте) определяли концентрации основных катионов (ICP-AES, ICP-MS), анионов (ионная хроматография) и растворенного углерода (ТС-анализатор). Активности металлов рассчитывали, используя программу WHAM VI (Tipping, 1998), и измеряли методом Доннан-мембраны (Temminghoff et al., 2000).

Для характеристики состояния микробного сообщества определяли скорости базального дыхания (V_{basal}) и скорость субстрат-индуцированного дыхания (V_{SIR}), с глюкозой в качестве субстрата. Концентрацию CO₂ определяли на газовом хроматографе Chrom-5 (ЧССР) с катарометром в качестве детектора. Биомассу почвенных микроорганизмов (C_{mic}) рассчитывали на основе скорости субстрат-индуцированного дыхания.

Результаты: Под влиянием выбросов комбината происходит резкое снижения pH почвы. Содержание металлов (Cu, Ni, Pb, Cd) во всех формах (в твердой фазе и в почвенном растворе) возрастает по мере приближения к комбинату, особенно значительно в случае Cu и Ni. Вблизи комбината существенно увеличивается также относительное содержание подвижной и кислоторастворимой форм металлов.

Дисперсионный двухфакторный анализ (TWO WAY ANOVA) показал, что удаленность от комбината обусловила 70—80% общей дисперсии микробиологических показателей в органогенном и 48—85% в минеральном горизонтах. Влияние пространственной неоднородности (положения относительно кроны) в пределах каждой точки отбора было достоверно, но гораздо ниже, чем влияние расстояния от комбината, прямо коррелирующее с содержания металлов в почве.

Считается, что токсичность таких металлов как Cu, Ni, Pb, Cd определяется главным образом концентрацией растворенных, несвязанных в комплексы ионов, то есть их активностью металлов в почвенном растворе. Активность металлов в почвенных растворах минерального и органического горизонтов возрастает по мере приближения к комбинату. В пределах каждой точки отбора диапазон варьирования активности (1—1.5 порядка) в зависимости от типа экстракта сопоставим с диапазоном изменения активности за счет пространственной неоднородности (отбор у ствола, под кроной дерева и в межкрановом пространстве).

Для расчета критических нагрузок тяжелых металлов на экосистемы в рамках Международной конвенции по трансграничному переносу поллютантов (UNECE CLRTAP) предложено использовать уравнения для критической активности металлов в растворе. Уравнения описывают критическую активность как функцию pH почвенного раствора, и выведены на основе опубликованных экотоксикологических лабораторных тестов (De Vries et al., 2007). Сравнение активности меди с рекомендованными критическими значениями показало значительное превышение критических концентраций вблизи комбината (7 км) для всех типов почвенных растворов. В фоновых почвах (200 км от комбината) активности меди во всех типах растворов не превышают рекомендованных критических значений. Критические концентрации свинца и кадмия не превышены по всему градиенту.

В результате сопряженного изучения активности металлов в почвенном растворе на разном удалении от комбината и реакции микробного сообщества лесных почв нами получены зависимости «доза—ответ» при долговременном воздействии металлов в условиях реального загрязнения. Анализ этих зависимостей показал, что при активностях, превышающих рекомендованные критические значения, происходит

существенное уменьшение (до 90—80% по сравнению с контролем в О гор. и до 60—40% в В гор.) базального дыхания и микробной биомассы, 50% сокращение биомассы и уменьшение активности дыхания наблюдается при p_{Cu} порядка 6 ($a_{Cu} = 10^{-6} \text{ Mol L}^{-1}$). Однако и при активностях Cu ниже рекомендованных критических значений может наблюдаться существенное снижение V_{basal} and C_{mic} .

Нужно отметить, что большой разброс значений V_{basal} and C_{mic} в повторностях (STD до 30%), а также значений активности меди в растворе (1—1.5 порядка) свидетельствует о большой неопределенности в установлении «критических активностей» металлов в отношении микробного сообщества в условиях реального техногенного загрязнения.

Сравнение активности металлов рассчитанных с помощью модели WHAM-VI, и измеренных методом Доннановской мембраны показало, что в среднем отклонение расчетных значений активности металлов Me^{2+} (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn) от результатов измерений находится в пределах $0.5 \log(Me^{2+})$. Для всех металлов, кроме свинца, наблюдается хорошая корреляция между расчетными и измеренными активностями. Для Cd, Cu, Ni и Zn степень комплексообразования была переоценена моделью при высоких содержаниях растворенного органического вещества (DOM) и недооценена при его низких содержаниях. Источником ошибки может быть неверная оценка доли активного в отношении связывания металлов DOM, являющаяся одним из параметров моделей. Однако для свинца, даже в том случае, если мы принимали долю активного DOM за 100% (вместо принятых в ряде публикаций 65%), мы по-прежнему переоценивали активность Pb в растворе. Используемая модель гораздо менее приемлема для Pb, чем для других изученных металлов.

Литература

1. (2007). Impact of soil properties on critical concentrations of cadmium, lead, copper, zinc, and mercury in soil and soil solution in view of ecotoxicological effects. *Rev. Environ. Contam. Toxicol.*, 191, p. 47-89.
2. (2000). Determination of the chemical speciation of trace metals in aqueous systems by the Wageningen Donnan Membrane Technique. *Analytica Chimica Acta*, 415, 149-157.
3. Humic ion-binding Model IV: an improved description of the interactions of protons and metal ions with humic substances. 1998. *Aquatic Geochemistry*, 4, p. 3-48.

ИЗМЕНЕНИЕ АЗОТНОГО СТАТУСА ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ В УСЛОВИЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ ОКСИДАМИ АЗОТА

Припутина И.В.
ИФХиБПП РАН, Пущино
irina.priputina@gmail.com

Начиная с 70-х годов прошлого столетия, для многих промышленно-урбанизированных регионов характерно техногенное загрязнение воздушной среды оксидами азота (NO и NO_2). В силу специфики их трансформации в атмосфере они способны относительно быстро выводиться из воздушной миграции, поступая на земную поверхность в форме минеральных соединений с осадками и за счет сухого осаждения. В результате воздушного переноса поллютантов, зоны рассеивания и последующего осаждения техногенных соединений азота распространяются на значительные площади от источников их эмиссии. В зависимости от интенсивности эмиссии NO_x , дополнительное поступление азота в наземные экосистемы может составлять от 2—5 до 10—25 кг N/га в год (преимущественно нитратов). Для лесных экосистем бореальной и умеренной зон этот уровень сопоставим с параметрами ежегодной биологической фиксации азота (Умаров и др., 2007). Т.е., возможно 1.5—2-х кратное повышение потока поступления азота в лесные биогеоценозы, причем в форме соединений, отличающихся биогеохимической и педогеохимической активностью.

Поступление азота в лесные экосистемы с атмосферными выпадениями имеет определенную специфику. Считается, что лесная растительность способствует усилению потока азотных соединений из атмосферы за счет сухого осаждения, тогда как на «открытых» поверхностях преобладают влажные выпадения. В небольших по площади лесных массивах возможны «краевые эффекты», также повышающие уровень поступления азота из атмосферы (Gundersen et al., 1998). В силу неравномерного характера прохождения атмосферных осадков через древесный полог (Карпачевский, 1981), возможно дифференцирование приствольных, подкрановых и межкрановых участков по этому показателю. Кроме того, техногенная эмиссия NO_x определяет относительно постоянное поступление соединений азота в течение года. Это ведет к их аккумуляции в зимний период в снеговом покрове, что может влиять на химический состав талых вод и определять характеристики почвенно-грунтового стока и запасов влаги в корнеобитаемой зоне в начале вегетации.

Несмотря на то, что ежегодно в лесные экосистемы поступают небольшие количества «дополнительного» азота, долговременный характер их поступления и относительная замкнутость природного цикла азота в лесах ведут к суммации доз. Оценки, выполненные нами для территории Московской области, показывают, что за 50-летний период (1960—2000-ые гг.) для лесов ближнего Подмоскovie суммарное поступление азота составило 100—150 кг N/га, из которых 2/3 — в нитратной форме (при уровне поступления в разные годы от 5—6 до 20 кг N/га). Для Южного Подмоскovie, в том числе, территории Приокско-Террасного биосферного заповедника, этот показатель соответствует 80—110 кг N/га, при более близком соотношении аммонийных и нитратных форм, и поступлении в разные годы от 3—5 до 10—12 кг N/га.

Известно, что основные биогеохимические потоки азота в наземных экосистемах определяются микробными процессами в почвах. Таким образом, лесным почвам принадлежит ведущая роль в биогеохимическом регулировании дополнительных техногенных потоков азота на лесных территориях. Повышение уровней выпадений азота

затрагивает как биогенные звенья азотного цикла, так и атмо-гидрохимические потоки, соотношение которых, по мнению М.А.Глазовской (1988), является одним из интегральных показателей устойчивости природных систем к химическим воздействиям.

При начальном кратковременном воздействии естественное регулирование азотного цикла происходит за счет увеличения емкости малого биологического круговорота в результате роста продуктивности биотических компонентов (Базилевич, Титлянова, 2008). Однако в лесах на увеличение продуктивности стволовой древесины идет только около 5% от дополнительно поступающего азота (Sutton et al., 2011). Большая часть «расходуется» на рост продукции фитомассы хвои и листвы, а также кустарникового и травяного яруса, что ведет к повышению массы опада. Выполненные нами для средневозрастных сосняков Южного Подмосковья модельные расчеты динамики пулов азота показали, что при поступлении 6 кг N/га в год большая часть азота атмосферных выпадений «закрепляется» в древесной растительности (Комаров и др., 2006). При увеличении «азотной нагрузки» до 12 кг N/га в год, это соотношение меняется; в биомассе древостоев удерживается меньшая часть из поступившего азота, а большее количество поступает в почвенный пул.

По мере «азотного насыщения» возрастает интенсивность миграционных потоков азота из лесных почв в сопряженные среды: растительность, почвенно-грунтовые воды и атмосферу. К числу эффектов, определяемых как эвтрофирование лесов, относят изменение видового состава напочвенного покрова, ускоренную минерализацию органического вещества, вымывание нитратов и денитрификацию. Эти нарушения наблюдаются в настоящее время во многих лесах Центральной и Северной Европы (De Vries et al., 2007). Насколько эти процессы характерны в настоящее время для лесов промышленно-урбанизированных регионов России? Какие индикаторные критерии могут быть использованы для оценки их азотного статуса?

В публикациях Института лесоведения РАН, посвященных анализу динамики растительности хвойных лесов Подмосковья в последние 30—50 лет, отмечена эвтрофикация лесных биогеоценозов (Рысин и др., 2000). Она проявляется в увеличении числа неморальных и эвтрофных видов напочвенного покрова и сокращении доли олиготрофов. Авторы связывают эти изменения видовой структуры с естественной сукцессионной динамикой лесов и климатическими изменениями последних десятилетий. Не подвергая сомнению их выводы, следует отметить, что период этих мониторинговых наблюдений совпал с упоминавшимся периодом роста эмиссии NO_x и уровней выпадений азота в Московском регионе. По-видимому, можно говорить о со-направленном влиянии природных и техногенного факторов.

Выполненные нами оценки питательного режима лесов Подмосковья на основе совместного анализа фитоценологических и почвенно-экологических характеристик биогеоценозов 22-х ключевых участков (Аверкиева, Припутина, 2011) показали, что большинство исследованных экосистем можно отнести к местообитаниям, достаточно обеспеченным азотом. При этом показано наличие корреляционных связей между почвенно-фитоценологическими показателями (ЭЦГ, баллами экологических шкал, показателями C/N в гумусовых горизонтах почв и др.) и условиями атмосферного поступления азота на территории Подмосковья (Аверкиева, 2013). Следует отметить, что в лесоведении, геоботанике и почвоведении используются разные индикаторы оценки азотного статуса экосистем, характеризующего их питательный режим и обеспеченность биоты азотом. Поэтому вопрос о том, насколько эти критерии соотносятся между собой, имеет важное практическое значение для достоверной оценки и прогноза экологической ситуации.

Литература

1. Влияние техногенной эмиссии оксидов азота на почвенно-экологические и фитоценотические условия лесных экосистем Московской области. Автореф. дисс. канд. биол. наук. – Владимир, 2013. – 24 с.
2. Оценка влияния техногенной эмиссии NO_x на питательный режим лесных биогеоценозов Подмосковья // Вестник Костромского гос. ун-та им. Н.А. Некрасова. 2011, т.17, №3. – С. 51-57.
3. Биотический круговорот на пяти континентах: азот и зольные элементы в природных наземных экосистемах. – Новосибирск, Изд-во СО РАН, 2008. – 381 с.
4. Микробная биомасса и моделирование цикла азота в почве. Автореф. дисс. докт. биол. наук. – Москва, 2012.
5. Лес и Лесные почвы. – М.: Высшая школа, 1981.
6. Биогеохимический цикл углерода в лесных экосистемах центра Европейской России и его техногенные изменения // Почвенные процессы и пространственно-временная организация почв. – М.: Наука, 2006. – С. 362-377.
7. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР. – М.: Высш. шк., 1988. – 328 с.
8. и др. Динамика хвойных лесов Подмосковья. – М.: Наука, 2000.
9. Анализ загрязнения воздушной среды в РФ // Использование и охрана природных ресурсов в России. 2004, №5. С. 98-103.
10. Микробиологическая трансформация азота в почве. М.: ГЕОС, 2007. – 138 с.
11. (2007) Element fluxes through European forest ecosystems and their relationships with stand and site characteristics // Environmental Pollution 148 (2), pp. 501-513.
12. (1998) Nitrate leaching in forest ecosystems is related to forest floor C/N ratio // Environmental Pollution 102: 403-407. Sutton M.A. et al. (2011) // The European Nitrogen Assessment: Sources, Effects and Policy Perspectives. Eds. Sutton M.A., Howard C.M., Erisman J.W., Billet G. et al. (2011) www.cambridge.org/9781107006126

ИЗМЕНЕНИЕ ЗАПАСОВ УГЛЕРОДА В ПОСТАГРОГЕННЫХ ЭКОСИСТЕМАХ В ХОДЕ ЕСТЕСТВЕННОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЛЕСА НА АГРОДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ

Рыжова И.М., Ерохова А.А., Подвезенная М.А.
МГУ имени М.В. Ломоносова, Факультет почвоведения, Москва
iryzhova@mail.ru

В связи с проблемой глобального изменения климата, много внимания уделяется оценке возможной секвестрации углерода при создании лесных плантаций и естественном восстановлении лесов на землях, выведенных из сельскохозяйственного оборота. Россия занимает первое место в мире по площади земель, выведенных из сельскохозяйственного оборота. Наибольший вывод произошел в период экономического кризиса 1990-х годов. По имеющимся прогнозам, в ближайшие 10 лет, примерно к 2017 году, общая аккумуляция углерода залежами России возрастет до 105—110 Мт С в год. Большая часть общего накопления углерода 80—85 Мт ежегодно придется на залежи лесной зоны (Люри и др., 2010).

В настоящем докладе представлены результаты изучения динамики и структуры запасов углерода в постагрогенных экосистемах в период естественного восстановления лесных экосистем на месте пашни на примере хроноряда постагрогенных экосистем южной тайги Европейской территории России. Обсуждаются результаты вычислительных экспериментов,

проведенных на модели круговорота углерода NAMSOM, по изучению направленности изменений запасов почвенного углерода в ходе постагрогенной сукцессии, в зависимости от характера предыдущего землепользования и гранулометрического состава почв.

Исследования проводились в Парфеньевском районе Костромской области. При выборе элементов хронорядов мы старались свести к минимуму различия в литогеоморфологических условиях. Все пробные площади размером 20*20 м². были заложены на водоразделе в районе села Горелец. Почвообразующие породы на изучаемой территории представлены покровными суглинками, подстилаемыми мореной. Изучаемый хроноряд представлен агроэкосистемой (посев овса), разнотравно-злаковым лугом (залежь 7 лет), молодым лесом (залежь 20 лет), лесом 40—50 лет и вторичным ельником (80—100 лет). Рассматриваемые экосистемы сформированы на агродерново-подзолистых и постагрогенных дерново-подзолистых среднесуглинистых почвах.

Для характеристики почв на каждой пробной площади был заложен почвенный разрез. В каждом горизонте определялась плотность почв, и отбирались образцы для определения содержания углерода. В процессе естественного лесовосстановления происходит дифференциация старопахотного горизонта по содержанию углерода, поэтому отбирались образцы почв из верхнего и нижнего слоев этого горизонта. Чтобы статистически оценить достоверность различий в содержании углерода в гумусовом горизонте почв залежей разного возраста, на каждой пробной площади дополнительно из прикопок отбирались почвенные образцы из слоев 0—10 и 10—20 см. На пашне, в луговых экосистемах и молодых лесах точки отбора проб (20 точек) располагались случайным образом по пробной площади. Для учета внутрибиогеоценозной вариабельности запасов подстилки и содержания углерода в почвах березово-еловых лесов и вторичных ельников, обусловленную воздействием деревьев-эдификаторов, создающих мощные фитогенные поля, исследования проводились методом заложения трансект (по четыре на каждой пробной площади). От ствола одного дерева до ствола другого (около 6—7 м) по прямой линии закладывалось по пять-шесть точек отбора образцов почв и подстилки: у ствола, в середине проекции кроны и одна-две точки в межкрупном пространстве (окне).

Запасы фитомассы травяного и травяно-кустарничкового ярусов определялись методом укусов в период максимального развития (конец июля). Для определения запасов корневой массы трав отбирались почвенные монолиты. Запасы фитомассы деревьев определены расчетным путем по аллометрическим уравнениям на основе измерений параметров древостоя. Запасы углерода древесного дебриса оценивали путем пересчета запасов фитомассы деревьев с использованием конверсионных коэффициентов. Содержание углерода в почве определялось методом Тюрина. При пересчете запасов фитомассы в запасы углерода использованы коэффициенты 0.5 и 0.45 соответственно для древесных фракций и хвои, листьев и трав. Содержание углерода в подстилке в лесах с преобладанием ели составляет в среднем 37%. Это значение было принято в расчетах. По полученным данным в рассматриваемом ряду запасы общего углерода увеличиваются с 5.2 на пашне до 27.6 кг С/м² в ельнике 80—100 лет. Эта оценка не является предельной, так как к этому возрасту экосистема еще не достигла климаксного состояния. В южной тайге на суглинистых почвах стабилизации общих запасов углерода в экосистеме следует ожидать примерно к 230-летнему возрасту залежи на уровне примерно 35 кг С/м² (Люри и др., 2010).

Секвестрация углерода постагрогенными экосистемами, в первую очередь, связана с его накоплением в фитомассе, и в меньшей степени — в почве. Запасы углерода фитомассы в

80—100 летнем ельнике в 48 раз выше, чем в агроэкосистеме, а запасы почвенного углерода, включая подстилку — только в 1.4 раза. Максимальная скорость накопления углерода в постагрогенных экосистемах приходится на время активного формирования древесного яруса. В изучаемом нами ряду она составляет 0.24 кг С/м² в год. В процессе постагрогенной сукцессии изменяется структура запасов углерода в экосистемах. В агроэкосистеме 94% общего запаса углерода представлено углеродом почвы. В ходе лесовосстановления доля этого пула снижается. В молодом лесу (залежь 20 лет) она составляет 57%, уменьшаясь в 45-ти и 80—100-летнем ельнике соответственно до 30 и 22%.

Результаты вычислительных экспериментов, проведенных на основе нелинейной модели круговорота углерода NAMSOM (Рыжова, 2003) продемонстрировали разную направленность изменений запасов почвенного углерода в ходе постагрогенной сукцессии, в зависимости от характера предыдущего землепользования и гранулометрического состава почв. Показано, что, несмотря на возможное в некоторых случаях уменьшение запасов почвенного углерода, общие запасы углерода в экосистемах в ходе постагрогенной сукцессии всегда увеличиваются за счет многократного роста запасов фитомассы и накопления углерода в подстилке. Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о секвестрации углерода на залежах южной тайги Европейской территории России.

Литература

1. Динамика сельскохозяйственных земель России в XX веке и постагрогенное восстановление растительности и почв. М.: ГЕОС, 2010. – 416с.
2. Запасы гумуса в автономных почвах природных экосистем Восточно-Европейской равнины и их чувствительность к изменениям параметров круговорота углерода // Почвоведение. 2003. № 9. с.1043-1049.

ВЛИЯНИЕ ПОСТАГРОГЕННОЙ ДИНАМИКИ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ИЗМЕНЕНИЯ СВОЙСТВ ПОЧВ ЮЖНОЙ ТАЙГИ ПРИ РАЗНЫХ ВИДАХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ОСВОЕНИЯ

Телеснина В.М., Климович Е.Ю.

МГУ имени М.В. Ломоносова, Факультет почвоведения, Москва
vtelesnina@mail.ru

Исследование постагрогенной динамики некоторых свойств почв южной тайги проводилось на территории Мантуровского района Костромской области. Объекты исследования — зарастающая пашня, слабо окультуриваемая в последние годы, зарастающий огород, интенсивно окультуриваемый в прошлом, а также зарастающий сенокосный луг. Зарастающий сенокос расположен в 7—8 км от р. Унжи, почва сформирована на суглинках. Остальные участки расположены ближе к руслу реки, почвы сформированы на песках или супесях. На зарастающем сенокосе выделено 4 стадии: луг, косившийся последний раз в 2010 году (агродерново-подзолистая реградированная почва); луг, не косившийся около 12 лет (агродерново-подзолистая реградированная); мелколиственный лес 20 лет (дерново-подзолистая постагрогенная), старовозрастный лес (дерново-подзолистая). Стадии зарастания пашни: пашня (агродерново-подзолистая), залежь 7—8 лет, залежь 12—13 лет (агродерново-подзолистые реградированные),

мелколиственный осиново-березовый лес 35—40 лет (дерново-подзолистая потагrogenная), старовозрастный лес (подзолистая). Зарастающий огород представлен 2 участками, отражающими стадии зарастание — собственно огород и огород, не используемый около 15—20 лет (почвы — агродерново-подзолистые).

В ходе зарастания пашни наблюдается резкое уменьшение надземной фитомассы травостоя (почти в 6 раз). Из доминантов травостоя постепенно уходят тимофеевка луговая и ежа сборная, которые дают максимальную биомассу на 5—7 летней залежи. Корневая фитомасса максимальна на луговых стадиях сукцессии, особенно на стадии 7-летней залежи, где преобладают рыхлокустовые злаки. Сходная динамика наблюдается при зарастании сенокоса. Уже через 1—2 года после прекращения кошения из травостоя практически исчезают ежа сборная и тимофеевка луговая, уступая зверобю продырявленному и веронике дубравной, за счет чего происходит уменьшение травяной фитомассы на 60—80 г/м². Через 7—8 лет после прекращения сенокосения надземная масса травостоя почти вдвое уменьшается за счет окончательного выпадения высокопродуктивных злаков и зверобоя. Травяной покров имеет очень низкое значение фитомассы в мелколиственных сомкнутых лесах. Корневая масса, в отличие от надземной, не изменяется так резко в сторону уменьшения после прекращения сенокоса или при старении залежи по пашне. Очень высокой надземной фитомассой характеризуется фитоценоз заброшенного огорода (более 600 г/м²), главным образом за счет рудерального высокотравья — следствия многолетнего внесения органических удобрений в прошлом. При этом корневая масса не выше, и даже несколько ниже, чем на залежах. Возобновление древостоя начинается через 8—12 лет после прекращения распахивания (сенокоса) и сопровождается япостепенной деградацией

Отдельно была посчитана масса так называемого легкоразлагаемого опада, поступающего на поверхность почвы за вегетационный период: сумма наземной фитомассы травяного яруса (кроме зимнезеленых растений), примерно 1/3 корневого опада трав и массы листвы деревьев. Именно эти фракции наземного опада наиболее важны для процессов гумификации и минерализации и формирования активности почвенной микрофлоры. На пашне эта величина крайне низкая по причине ежегодной уборки урожая. На лугах масса легкоразлагаемого опада может быть значительной — даже на сенокосе, поскольку почти все преобладающие виды злаков характеризуются высокой отавностью. Так, при зарастании сенокоса суммарное количество легкоразлагаемого опада резко сокращается от сенокосного луга к залежному лугу по причине смены флористического состава, затем увеличивается в лесных сообществах за счет опада мелколиственных деревьев. При зарастании пашни количество суммарного легкоразлагаемого опада увеличивается в лесных сообществах за счет поступления мелколиственного опада (максимальная величина — на стадии 30—40-летнего мелколиственного леса), а кроме того, уменьшается от молодых травяных залежей к более старым. Поступление с легкоразлагаемым опадом азота и зольных элементов в экосистеме пашни осуществляется исключительно за счет корневых систем, в травяных экосистемах залежей — преимущественно за счет корневой биомассы трав (особенно на 12-летней залежи), в лесных экосистемах в качестве источников азота и зольных элементов абсолютно преобладает листва деревьев — главным образом березы и осины.

Профиль почвы заброшенного огорода характеризуется высокой гумусированностью в верхних 30—40 см. Пахотная почва, естественно, характеризуется гомогенным верхним минеральным горизонтом, тогда как уже в почве 7-летней залежи

наблюдается обособление дернового горизонта (7—10 см) в верхней части старопашотного горизонта, то есть начинается постепенное восстановление исходного органопрофиля. На стадии 35-летнего леса граница старопашотного горизонта местами утрачивает ровный характер, также появляется горизонт лесной подстилки, состоящий, главным образом, из листового опада. При этом гумусированность верхней части профиля остается высокой по причине остаточного влияния разложения дернового горизонта, характерного для предыдущих стадий сукцессии. Изменение морфологии верхней части профиля при зарастании сенокоса выражено не столь отчетливо, по крайней мере до образования лесной подстилки. Изменения в содержании гумуса неодинаковы в различных постагрогенных рядах. При зарастании пашни имеет место четкое увеличение содержания гумуса, а также запасов углерода в слое 0—30 см. Зарастание сенокоса сопровождается некоторым уменьшением содержания гумуса на самых ранних стадиях постагрогенной сукцессии и некоторым последующим его возрастанием. Запас углерода в слое 0—30 см также уменьшается после прекращения сенокосения, а при смыкании древостоя возрастает главным образом за счет запасов углерода лесной подстилки. Содержание и запасы углерода при зарастании заброшенного огорода за 15—20 лет изменяются незначительно — с 3.2 до 2.6%. Выявлена довольно отчетливая динамика актуальной кислотности почв в верхней части профиля. При зарастании пашни рН верхнего минерального горизонта уменьшается от 5.4 на сенокосном лугу до 4.7 в старовозрастном лесу, при зарастании пашни и с 6.0 в пахотной почве до 4.1 в почве старовозрастного леса. Стоит отметить, что наиболее резкое снижение рН соответствует стадии смыкания древостоя с формированием сплошного горизонта лесной подстилки. Наиболее высокий показатель рН характерен для почвы огорода — 7.5; через 15—20 лет он уменьшается всего до 6.6. Динамика актуальной кислотности обусловлена как сменой растительности, так и постепенным уменьшением последствий окультуривания почвы.

Микробная биомасса в верхних минеральных горизонтах, определенная по субстрат-индуцированному дыханию, также изменяется в зависимости от стадии постагрогенной сукцессии и от истории сельскохозяйственного освоения в прошлом. При зарастании пашни, максимальное значение микробной биомассы (320 мкг С/100 г почвы) характерно для молодой залежи 5—7 лет, которой соответствует высокопродуктивный травостой, а также относительно высокая остаточная обогащенность элементами минерального питания. Довольно низкая величина микробной биомассы характерна для почв пашни и старовозрастного леса (не более 140 мкг С/100 г почвы). При зарастании сенокоса происходит постепенное снижение микробной биомассы, особенно при переходе от луговых сообществ к лесным. Довольно высокая биологическая активность почв «огородного» ряда по причине высокой степени окультуривания — 352 мкг С/100 г в почве действующего огорода и 250 мкг С/100 г почвы — через 15—20 лет.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И АНТРОПОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ РАЗНООБРАЗИЕ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ВЫРУБОК ЮЖНОТАЕЖНЫХ ЕЛЬНИКОВ

Уланова Н.Г.

МГУ имени М.В. Ломоносова, Биологический факультет, Москва
nulanova@mail.ru

Удаление полога древостоя приводит к резкому изменению экологических условий существования сохранившейся и формирующейся растительности. Структура растительного покрова вырубок во многом определяется техногенным микрорельефом. При воздействии лесозаготовительной техники на почву и растительный покров в процессе рубки и трелевки древесины на лесосеке образуются и пространственно обособляются четыре типа экотопов (Уланова, Тощева, 1989; Цветков, 2005; Уланова, 2006): а) ненарушенные и малонарушенные — вдоль стен леса, около пней и куртин недорубов без воздействия лесозаготовительной техники на почву; б) средненарушенные — при протаскивании срубленных деревьев и проходе тракторов; в результате уничтожается подрост, кустарники, травы и сдираются мхи, подстилка и даже верхние почвенные горизонты, при этом происходит перемешивание подстилки, порубочных остатков с верхними горизонтами почвы; в) сильнонарушенные — при многократном проходе тракторов с хлыстами по волокам и дорогам происходит полное уничтожение и перемешивание растительности и подстилки с верхними горизонтами почвы, при этом может оголяться подзолистый горизонт; г) кучи или валы из порубочных остатков и выкорчеванных пней.

Почвенный покров вырубок ельников представляет собой комплекс контрастных почвенных комбинаций техногенного происхождения. Условия экотопов отличаются положением в мезо- и микрорельефе, почвами, микроклиматическими и гидротермическими условиями (Борисова, Уланова, 2001). В результате образование новых фитоценозов детерминировано, с одной стороны, сохранностью лесной растительности и, с другой стороны, условиями новых экотопов. Качественно новые растительные сообщества представляют собой комплекс фитоценозов, различных по площади и конфигурации. В итоге в пределах одного исходного лесного фитоценоза после рубки леса формируется комплекс фитоценозов, приуроченных к определенным экотопам. Фитоценозы существенно отличаются ходом последующих восстановительных процессов, и это сказывается впоследствии на структуре древесного яруса вторичного леса (Паутов, Ильчуков, 2001).

Для выявления закономерностей расположения фитоценозов по мезорельефу в четырех областях (Новгородская, Тверская, Костромская, Вологодская) были заложены профили после рубки в разных типах ельников. Геоботанические профили проводили от основания до вершины склонов, охватывая все элементы мезорельефа в пределах одного исходного типа леса. Вдоль профилей выполнена нивелировка относительных высот. Границы фитоценозов фиксировали по относительным высотам профиля.

Разноплановые исследования растительности вырубок позволили выявить основные закономерности положения типов фитоценозов вырубок по градиентам увлажнения и трофности местообитаний в зависимости от степени антропогенной нарушенности травяно-кустарничкового яруса и почв.

1. В условиях повышенного увлажнения, в зависимости от трофности и проточности, на сильнонарушенных почвах волоков формируются долгомошные

(доминант *Polytrichum commune*) , ситниковые (доминант *Juncus effusus*) и камышовые (доминант *Scirpus sylvaticus*) фитоценозы.

2. При сильных нарушениях почвы, со снятием верхних горизонтов (на главных волокнах), на влажных почвах образуются щучковые (доминант *Deschampsia cespitosa*) или ивовые (доминант *Salix caprea*) фитоценозы, на сухих — полевицевые (доминант *Agrostis tenuis*) фитоценозы.

3. На пологих вершинах холмов, на почвах высокой трофности (на кучах или валах перегнивающих порубочных остатков), образуются малиновые (доминант *Rubus idaeus*) и кипрейные (доминант *Chamerion angustifolium*) фитоценозы.

4. Наземнейниковые (доминант *Calamagrostis epigeios*) фитоценозы развиваются на пологих склонах со средней степенью нарушенности подстилки и почв.

5. Леснейниковые (доминант *Calamagrostis arundinacea*) фитоценозы формируются на самых высоких участках, обычно на вершинах холмов и грив, при условии незначительного нарушения травяно-кустарничкового яруса и подстилки.

6. В ложбинах между холмами в переувлажненных условиях, где обычно нет волоков, сохраняется растительность исходного леса. По градиенту увеличения трофности в таких переувлажненных условиях образуются осоково-сфагновые (доминанты *Carex cinerea*, *C. leporina*, *Sphagnum girgensohnii*), сероватейниковые (доминант *Calamagrostis canescens*) и таволговые (доминант *Filipendula ulmaria*) фитоценозы.

7. Заболачивание верхового типа происходит в бессточных понижениях ровных участков водоразделов. По градиенту увеличения заболачивания образуются брусничные, бруснично-черничные, бруснично-долгомошные и чернично-бруснично-сфагновые фитоценозы.

8. Осинные фитоценозы формируются при средней степени нарушения по склонам и верхним пологим частям рельефа на почвах высокой трофности при отсутствии избыточного увлажнения.

Высокая экотопическая гетерогенность, возникающая в процессе рубки, и выраженность микро- и мезорельефа определяют комплексность растительности вырубок. Тип каждого фитоценоза определяется влажностью и трофностью нового местообитания и зависит от первоначальной степени антропогенной нарушенности травяно-кустарничкового яруса и почв.

Литература

1. Связь растительности микрогруппировок вейниковой вырубki с почвами // Бюлл. МОИП. Отд. биол. 1989. Т. 94, № 4. С. 73–84.
2. Итоги изучения растительности сплошных вырубок еловых лесов национального парка «Русский Север» // Лесные стационарные исследования: методы, результаты, перспективы. Тула, 2001. С. 183–185.
3. Пространственная структура производных насаждений на сплошных концентрированных вырубках в Республике Коми // Лесоведение. 2001. № 2. С. 27-32.
4. Вопросы лесовозобновления в связи с рубками на европейском севере России // Проблемы лесоведения и лесоводства. Архангельск, 2005. С. 29-76.
5. Восстановительная динамика растительности сплошных вырубок и массовых ветровалов в ельниках южной тайги (на примере европейской части России). Автореф. дис. д-ра биол.наук. М., 2006. 46 с.

ЭВОЛЮЦИЯ СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ В ЮЖНОЙ ЛЕСОСТЕПИ СРЕДНЕРУССКОЙ РАВНИНЫ ПОД ВЛИЯНИЕМ ЧЕЛОВЕКА

Хохлова О.С.¹, Чендев Ю.Г.², Мякшина Т.Н.¹

¹ИФХиБПП РАН, Пущино, ²БелГУ, Белгород
alexkh1@sares-net.ru

Черноземы являются основным компонентом почвенного покрова лесостепи Среднерусской возвышенности, при этом вторым по площади типом почв этой зоны являются серые лесные. Проблема взаимопереходов этих двух типов почв друг в друга обсуждается уже более 100 лет. По мнению В.И. Талиева (1902) сведение лесов и увеличение площади пашен и лугов стали причиной распространения степной растительности далеко на север, а очерноземливание серых лесных почв — результат остепнения лесных территорий на протяжении последних столетий. И.А. Павленко (1955), опираясь на летописные источники, указывает на значительную густоту и мертвопокровность широколиственных лесов типичной лесостепи, существовавших 300—400 лет назад, то есть, до значительного заселения этой территории. Историко-картографический анализ антропогенных изменений почвенного покрова Нижегородской губернии выявил приуроченность ареалов черноземов оподзоленных к территориям, на которых леса были сведены более 200 лет назад (Фатьянов, 1959).

Нами в Белгородской области были изучены агрохроноряды почв, где рядом с сохранившимся участком коренного широколиственного леса компактно, в пределах плакорного участка, были расположены пашни с длительностью распашки 100—150—более 200 лет. Поиск участков проведен по архивным картам. Изучены почвы без применения минеральных и с крайне низкими дозами внесения навоза. В Воронежской области, на полях Воронежской агростанции ВНИИ кукурузы изучен агроряд, где вблизи дубово-липового леса с темно-серыми лесными почвами расположены поля станции, где в течение последних 50 лет проводится опыт по влиянию на почвы различных агро-воздействий: кукуруза, черный пар, севооборот без применения удобрений. В целом, распашка полей агростанции началась более 250—300 лет, согласно архивам.

Полученные данные подтверждают сближение свойств распаханых серых лесных почв с черноземами. В результате распашки в серых лесных почвах увеличивается мощность гумусового профиля, растет число кротовин, понижается коэффициент текстурной дифференциации, рассчитываемый по содержанию ила, увеличивается содержание питательных элементов в верхнем метре профиля, наблюдается подщелачивание и усиливается аккумуляция карбонатов во втором метре профиля.

Результат процесса гумусоаккумуляции и выполаживание кривой распределения гумуса в профилях проявляются ниже пахотного горизонта до глубины 80 (100) см после 200 лет агрогенного использования серых лесных почв. Кроме того, наблюдается разрыхление слоя 20—80 (100) см и уменьшение плотности почвы в старопашотных (используемых более 200 лет) почвах. Аккумуляция карбонатов на более высоком уровне значений содержания карбонатов одних и тех же горизонтах или чуть выше подтянутых в профиле пахотных почв отмечается уже после 50 лет распашки и в дальнейшем меняется мало. Согласно нашей гипотезе, подтягивание карбонатов из почвообразующей породы происходит по порам капиллярного размера в коллоидных растворах-суспензиях, то есть, без обмена с почвенным CO₂, так как помимо содержания возрастает и 14C-возраст

новообразованных карбонатов. Все эти наблюдения свидетельствуют о сближении свойств серых лесных почв и черноземов в результате вырубki лесов и распашки серых лесных почв в южной части лесостепи Среднерусской возвышенности.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты 12-05-97512-р_центр_а; 12-04-00201а).

Литература

1. Лесостепные почвы нагорных дубрав правобережья реки Ворсклы и их происхождение // Материалы по географии и генезису почв лесной зоны Европейской территории СССР. М.: Изд-во АН СССР. 1955. С. 191-287.
2. Человек как ботанико-географический фактор // Научное обозрение. 1902. № 11. С. 42-61.
3. Опыт анализа истории развития почвенного покрова Горьковской области // Почвенно-географические исследования и использование аэрофотосъемки в картографии почв. М.: Изд-во АН СССР, 1959. С. 3-171.

ВЛИЯНИЕ РЕКРЕАЦИИ НА ЭКОСИСТЕМЫ ЮЖНЫХ ЕЛЬНИКОВ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА ВАЛДАЙСКИЙ

Юзбеков А.К., Мазина С.Е., Тимошенко В.В.

МГУ имени М.В. Ломоносова, Факультет почвоведения, Москва
uak2003@mail.ru

На примере лесных сообществ «Национального парка «Валдайский» (центр отдыха «Северное сияние») проведено исследование влияния рекреации на видовой состав и видовую структуру почвенно-растительного комплекса. «Национальный парк «Валдайский» расположен на юго-востоке Новгородской области в пределах центральной части Валдайской возвышенности — основного водораздела Русской равнины, на границе двух растительных зон южной тайги и смешанных лесов. На территории парка насаждения с преобладанием ели занимают 28% лесных земель. Климат умеренно-континентальный с умеренно-теплым летом и довольно продолжительной умеренно-холодной зимой. В почвенном покрове парка преобладают дерново-слабоподзолистые почвы, для которых характерны относительная обогащенность первичными минералами и в зависимости от почвообразующих пород — остаточная карбонатность [2].

В настоящее время преобладающим антропогенным фактором в парке является рекреация. Ежегодно парк посещают более 60 тыс. человек. Единовременная рекреационная емкость составляет около 19 тыс. человек летом и 4 тыс. — зимой. Центр отдыха «Северное сияние» — небольшой пансионат на территории парка с единовременной рекреационной емкостью 115 человек зимой и 150 — летом; координаты — 58.01172° с.ш. и 33.34540° в.д., преобладают елово-сосновые зеленомошные леса.

Одним из способов оценки состояния лесного массива является диагностика уровня деградации почвенно-растительного покрова. Растительность нижнего яруса испытывает ряд негативных воздействий: механические повреждения, изменение физических параметров почвы и трансформацию микрофлоры почвы. На реакцию организмов влияют также интенсивность и длительность рекреационного воздействия и эколого-биологические особенности видов. Диагностику степени рекреационного влияния на лесные экосистемы проводят, применяя ряд показателей, значимость которых может варьировать.

Целью нашего исследования является изучение структуры лесного фитоценоза и выявление наиболее значимых для диагностики рекреационного воздействия параметров. Для описания ассоциаций на территории центра отдыха «Северное сияние» выбирали наиболее типичные участки площадью 100 м², с разным уровнем рекреационной нагрузки, расположенные на пойменной террасе. Всего выделено три площадки, с различными стадиями рекреационной дигрессии, одна из которых - контрольная. Стадии рекреационной дигрессии определяли трансектным методом через процент вытоптанной поверхности напочвенного покрова. Поток CO₂, направленный из почвы в атмосферу, определяли методом закрытых камер [1], как сумму дыхания всех почвенных организмов. Он включал дыхание организмов разлагающих подстилку, но не включал поток CO₂, поступающий от разложения древесного дебриса. Методика замеров рассмотрена в статье А.К Юзбеков [3]. Измерения проводили в течение 3—4-х минут на каждой точке с помощью анализатора закрытого типа LI-6200 (Li-Cor Inc., Lincoln, Небраска, США). Твердость почвы определяли с помощью стрелочного пенетрометра. Достоверность различий полученных результатов оценивали с использованием критерия Стьюдента при 5%-ном уровне значимости. Проанализированы физико-химические показатели двух верхних генетических горизонтов почв. Количественный учет микромицетов, микроводорослей и бактерий почвы проводили методами прямого счета и выращивания на селективных средах: почвенная вытяжка для микроорганизмов, среда Чапека для микромицетов и минеральная среда №6 для водорослей и цианобактерий. Биомассу мохообразных на единице площади определяли весовым методом.

Обследованный лесной участок ельник-зеленомошник с примесью сосны, подростом из ели и нижним ярусом, состоящим из можжевельника, черемухи, кустарничков черники и брусники и травянистым ярусом, представленным неморальными видами. Зоны рекреации характеризуются отсутствием подроста, в зоне рекреации 2 произошла смена видового состава: луговые виды вытеснили неморальные.

Почвы относятся к стволу: постлитогенные почвы; отделу: слаборазвитые почвы, "псаммоzem оподзоленный" с горизонтами O1-C_e-C_{ff}-C. Проведено исследование двух верхних горизонтов почвенного слоя на глубину 20 см, поскольку известно, что рекреационные изменения субстратов не затрагивают более глубокие горизонты. На всех образцах отмечено подстилочное осветление в слое 0.5—1 см, следы миграции железа на глубину 2 см в горизонте C_e. В зонах рекреации происходит снижение мощности верхних горизонтов, уменьшение органических частиц в подстилке, снижение показателей количества углерода и азота, уплотнение верхних горизонтов и связанное с этим снижение влагоемкости, повышение pH горизонта C_e. При этом в валовом химическом составе почв в контрольных и опытных точках учета достоверных различий не выявлено.

Изменения почвенных характеристик в зоне рекреации обусловлены, в первую очередь, интенсивным механическим воздействием и преобразованием состава и структуры комплекса почвенных микроорганизмов. Анализ видового состава микромицетов выявил незначительное снижение числа видов в зоне рекреации. Численность микроорганизмов и водорослей снижена, что может повлиять на общую биологическую активность верхних горизонтов почвы.

Выявлено статистически достоверное увеличение дыхания почвы в условиях рекреационного воздействия. Вероятно, увеличение эмиссии CO₂ с поверхности почвы обусловлено изменением активности анаэробной микрофлоры почвы, связанной с увеличением затрат на адаптацию.

Полученные данные свидетельствуют о том, что рекреация оказывает воздействие на все изученные параметры лесных экосистем национального парка. При этом существенные изменения претерпевают следующие параметры: механический состав, твердость и порозность почвы, эмиссия CO₂ с поверхности почвы, проективное покрытие всех ярусов, видовой состав растений, мохообразных и грибов, численность микроорганизмов.

Литература

1. Системы оценки и прогноза запасов углерода в лесных экосистемах // Устойчивое лесопользование. №4 Т. 29. 2011. С. 15-22.
2. Леса Валдая. М.: Наука, 1991. 160 с.
3. Влияние рекреации на эмиссию CO₂ с поверхности почвы в лесных экосистемах национального парка «Валдайский». // Вестник РУДН, серия Экология и безопасность жизнедеятельности, 2011. № 4. С. 72-77.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Linkosalo T.	101	Гродницкая И.Д.	106	Кудеяров В.Н.	80
Mäkipää R.	101	Грозовская И.С.	69	Кудрин А.А.	175
Абакумов Е.В.	26, 54	Денева С.В.	47	Кузнецов В.А.	173
Авилов В.К.	113	Добрынин Д.В.	169	Кузнецов М.А.	144, 149
Акишина М.М.	29	Дроздова И.В.	75	Кузнецов П.В.	144
Алейников А.А.	58, 67	Дубровский Ю.А.	34, 71	Кузнецова Е.Г.	178
Ананьева Н.Д.	120, 130, 171, 180	Дымов А.А.	45, 71	Курганова И.Н.	80
Аничкин А.Е.	113	Евграфова С.Ю.	108	Лаптева Е.М.	175, 178
Артемкина Н.А.	162	Евдокимова Г.А.	16, 167	Ларина Г.В.	40
Арчегова И.Б.	178	Ерохова А.А.	187	Ларионова А.А.	76
Ахметова Г.В.	27	Ефименко А.С.	67	Линкосало Т.	63
Ахметьева Н.П.	164	Ефремов Д.Ф.	22	Лиханова И.А.	178
Бахмет О.Н.	27, 166	Жангуров Е.В.	34, 71	Лиханова Н.В.	179
Башкин В.Н.	62	Жужнева И.В.	36	Лопес де Гереню В.О.	
Безрукова М.Г.	67	Замолодчиков Д.Г.	18		80, 113
Белоконь М.М.	83	Захаров Н.А.	169	Лукина Н. В.	20, 120
Белоконь Ю.М.	83	Земсков Ф.И.	39	Лысков И.А.	42
Беляев А.Б.	133	Зенкова И.В.	109	Львова Л.Б.	84
Беляева А.И.	75	Иванов А.В.	40	Мазина С.Е.	195
Благодатская Е. В.	182	Иванова Н.В.	87	Макеева В.М.	83
Бобкова К.С.	132, 144, 149	Иващенко К.В.	171, 180	Малинина М.С.	29, 39
Бобровский М.В.	69, 180	Ильяшенко М.А.	136	Малов В.Г.	36
Бовкунов А.Д.	58	Инишева Л.И.	40	Матвиенко А.И.	117
Богатырев Л.Г.	29, 39	Исаев А.И.	22	Мелехина Е.Н.	115
Болотов Н.А.	133	Исаева Л.Г.	73	Меняйло О.В.	117
Букин Ю.С.	122	Каверин Д.А.	150	Милановский Е.Ю.	45, 52
Бутовец Г.Н.	31, 66	Каганов В.В.	138	Минчева Е.В.	122
Быховец С.С.	63, 101	Кадулин М.С.	139	Михайлова А.В.	164
Васенёв В.И.	171	Калимова И.Б.	73	Мозгова Н.П.	167
Ведрова Э.Ф.	12	Калинин А.А.	83	Москаленко С.В.	87, 180
Виноградова Ю.А.	175	Карелин Д.В.	18, 154	Мякшина Т.Н.	80, 182, 194
Владыченский А.С.	136	Квиткина А.К.	76		
Ворожцова Е.А.	108	Климович Е.Ю.	189	Надпорожская М.А.	42, 84
Габов Д.Н.	71	Ковалев И.В.	141	Низовцев Н.А.	71
Гавриленко Е. Г.	130	Ковалева В.А.	178	Орлова М. А.	120, 146
Гагарина Э.И.	26	Ковалева Н.О.	141	Осипов А.Ф.	144, 149
Гамзатова Х.М.	33	Ковш Н.В.	84	Пампура Т.В.	182
Герасимова М.И.	14	Кожина В.С.	78	Панюков А.Н.	178
Гладкова Г.А.	31, 66	Козлова А.А.	56	Пастухов А.В.	150
Головченко А.В.	40	Колесникова А.А.	111, 175	Первова Н.Е.	152
Горбачева Т.Т.	162	Комаров А.С.	101	Перминова Е.М.	175
Грабарник П.Я.	67	Конакова Т.Н.	111, 175	Перова Е.Н.	54
Гребенщикова В.И.	144	Копцик Г.Н.	139	Пинский Д.Л.	122
		Корнейкова М.В.	167	Погожева Е.А.	29
		Коротков В.Н.	103	Подвезенная М.А.	187

Политов Д.В.	83	Хораськина Ю.С.	101
Порохина Е.С.	40	Хохлова О.С.	194
Почикалов А.В.	154	Чалова Т.С.	93
Припутина И.В.	182	Чендев Ю.Г.	194
Пройдакова О.А.	144	Чертов О.Г.	84, 124
Рожков В.А.	22	Честнова В.В.	52
Рочева Л.К.	87	Чиркова Е.Г.	56
Русанов А.М.	48	Шамрикова Е.В.	99
Русанова Г.В.	47	Шанин В.Н.	87, 101
Рыжова И.М.	173, 187	Шарый П.А.	103
Савин И.Ю.	80	Шахтарова О.В.	47
Самсонова В.П.	29	Шашков М.П.	87, 127
Сапронов Д.В.	80, 89	Швиденко А.З.	22
Седых В.Н.	22	Шеин Е.В.	48
Семенюк О.В.	136	Шлыкова Ю.С.	58
Семиколанных А.А.	58, 78, 90, 169	Шугалей Л.С.	13
Сибирина Л.А.	91	Щеглов Д.И.	133
Смирнов В.Э.	69	Щербаков Д.Ю.	122
Смирнова И.Е.	139	Юзбеков А.К.	195
Смуров А.В.	83		
Соколов В.А.	22		
Соколова Т.А.	93, 95		
Сорокин Н.Д.	118		
Сорокина Е.П.	97		
Сорокина О.А.	156		
Стома Г.В.	173		
Сулейманов Р.Р.	54, 158		
Сулова Е.Г.	83		
Сусьян Е.А.	120		
Таскаева А.А.	175		
Телеснина В.М.	29, 189		
Темралеева А.Д.	122		
Тимошенко В.В.	195		
Толпешта И.И.	93, 95		
Тюрин В.Н.	97		
Уланова Н.Г.	192		
Федорец Н.Г.	51		
Федорос Е.И.	84		
Федотов Г.Н.	45		
Хайдапова Д.Д.	52		
Халитов Р.М.	54		
Ханина Л.Г.	69		
Химич Ю.Р.	73		
Холодилова В.В.	108		
Холодов В.А.	45		

СОКРАЩЕННЫЕ И ПОЛНЫЕ НАЗВАНИЯ ОРГАНИЗАЦИЙ УЧАСТНИКОВ КОНФЕРЕНЦИИ

Астраханский государственный заповедник Федеральное государственное бюджетное учреждение «Астраханский ордена Трудового Красного Знамени государственный природный биосферный заповедник имени В.И. Ленина»

БелГУ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Белгородский государственный университет»

БИН РАН Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ботанический институт им.

В.Л. Комарова Российской академии наук

Бингенский политехнический университет

БПИ ДВО РАН Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Биолого-почвенный институт Дальневосточного отделения РАН

ГАГУ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Горно-Алтайский университет»

ГЕОХИ РАН Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геохимии и аналитической химии им. В.В. Вернадского Российской академии наук

ДальНИИЛХ Дальневосточный научно-исследовательский институт лесного хозяйства

ДГУ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Дагестанский государственный университет

ИБ Коми НЦ УрО РАН Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН

ИБ УНЦ РАН Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт Биологии Уфимского научного центра РАН

ИВП РАН Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт водных проблем Российской академии наук

ИГХ СО РАН Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геохимии им. А.П. Виноградова Сибирского отделения РАН

ИЛ КарНЦ РАН Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт леса Карельского научного центра РАН

ИЛ СО РАН Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт леса им. В.Н. Сукачева Сибирского отделения РАН

ИМПБ РАН Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт математических проблем биологии Российской академии наук

ИОГен РАН Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова Российской академии наук

ИППЭС КНЦ РАН Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра РАН

ИПЭЭ РАН Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем экологии и эволюции имени А.Н. Северцова Российской академии наук

ИТЦ СканЭкс Инженерно-технологический центр СканЭкс

ИФХиБПП РАН Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения Российской академии наук

ИЭВБ РАН Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт экологии Волжского бассейна Российской академии наук

ИЭП МГУ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт экологического почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова

КрасГАУ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Красноярский Государственный аграрный университет»

ЛИН СО РАН Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Лимнологический институт Сибирского отделения Российской академии наук

МГУ имени М.В. Ломоносова Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»

ОГУ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет»

ООО «Гиперборея»

Почвенный институт им. В.В. Докучаева Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Почвенный институт имени В.В. Докучаева Российской академии сельскохозяйственных наук

ПушГЕНИ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Пушинский государственный естественно-научный институт

ПФ «Верховье» Некоммерческая организация Природоохранный фонд «Верховье»

РГАУ-МСХА Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Российский государственный аграрный университет — Московская сельскохозяйственная академия имени К.А. Тимирязева»

СПбГУ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет»

ТГПУ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Томский государственный педагогический университет»

ТропЦентр ИПЭЭ Российско-Вьетнамский Тропический научно-исследовательский и технологический центр

ФГБОУ ВПО «ВГУ» Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Воронежский государственный университет»

ФГБОУ ВПО «ИГУ» Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Иркутский государственный университет»

ФГБУ «ИГЭК Росгидромета и РАН» Федеральное государственное бюджетное учреждение «Институт глобального климата и экологии Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды и Российской академии наук»

ФГУНПП «Аэрогеология» Федеральное государственное унитарное научно-производственное предприятие «Аэрогеология»

ЦЭПЛ РАН Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов Российской академии наук

IIASA Международный институт прикладного системного анализа

METLA Forest Research Institute