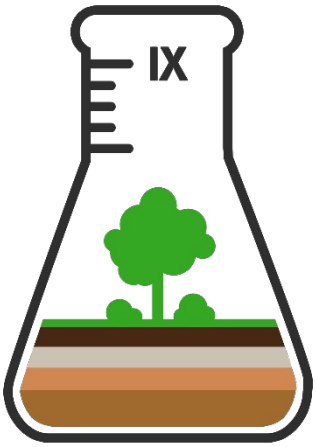
ЦЕНТР ПО ПРОБЛЕМАМ ЭКОЛОГИИ И ПРОДУКТИВНОСТИ ЛЕСОВ РАН

НИКИТСКИЙ БОТАНИЧЕСКИЙ САД РАН

ОБЩЕСТВО ПОЧВОВЕДОВ ИМ. В.В. ДОКУЧАЕВА

НАУЧНЫЙ СОВЕТ РАН ПО ЛЕСУ



МАТЕРИАЛЫ
IX ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ

«ЛЕСНЫЕ ПОЧВЫ И ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА»

forestsoil2019@gmail.com

forestsoil.ru

Россия, онлайн-заседания

21-24 сентября 2021

УДК 630*114
ISBN 978-5-6047075-0-0

ЛЕСНЫЕ ПОЧВЫ И ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА: МАТЕРИАЛЫ IX ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ – М.: ЦЭПЛ РАН, 2021. 230 с.

В сборнике представлено 89 тезисов докладов, касающихся актуальных проблем лесного почвоведения: механизмы комбинированного влияния растительности, животных и микроорганизмов на экосистемные функции лесных почв; применение методов математического моделирования для оценки экосистемных функций лесных почв; пожары как фактор утраты биоразнообразия и функций лесных экосистем; оценка и прогноз динамики функций лесных почв в условиях комбинированного действия природных и антропогенных факторов; влияние истории землепользования и климата на лесные почвы; лесоразведение и свойства почв. Для почвоведов, работников лесного хозяйства, экологов, биологов, специалистов по ГИС, преподавателей, студентов и аспирантов высших учебных заведений.

Редакционная коллегия: член-корр. Лукина Н.В., к.б.н. Гераськина А.П., к.б.н. Костенко И.В., Ермолов С.А., Иванова Е.А., Кузнецова А.И., Колычева А.А., Никитина А.Д., к.б.н. Ручинская Е.В., к.б.н., Тебенькова Д.Н., к.б.н. Тихонова Е.В.

СОДЕРЖАНИЕ

АЗАРЕНОК Т.Н., МАТЫЧЕНКОВА О.В., МАТЫЧЕНКОВ Д.В., ДЫДЫШКО С.В., АНАНЬКО Е.Д. СОЗДАНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ ПОЧВ ЛЕСНЫХ ЗЕМЕЛЬ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННОГО РЕССТРА ПОЧВ БЕЛАРУСИ **..... 9**

АНТЮФЕЕВ В.В. МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА И АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ У ВЕРХНЕЙ ГРАНИЦЫ РАСПРОСТРАНЕНИЯ КОРИЧНЕВЫХ ПОЧВ НА ЮЖНОМ БЕРЕГУ КРЫМА. РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ И ВАРИАНТЫ ПРОГНОЗА**.....11**

АХМЕТОВА Г.В. РОЛЬ РАСТИТЕЛЬНОСТИ В ФОРМИРОВАНИИ НЕОДНОРОДНОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ЛЕСНЫХ ПОДСТИЛОК ПОЧВ СОСНОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ (НА ПРИМЕРЕ РЕСП. КАРЕЛИЯ)**...13**

БАРАНОВСКИЙ Н.В., БАЧУРИН И.В. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЛЕСНОГО ПОЖАРА НА ПОЧВЫ**.....15**

БАХМЕТ О.Н. КРУГОВОРОТ УГЛЕРОДА В РАЗЛИЧНЫХ КОМПОНЕНТАХ ПОЧВ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ СЕВЕРО-ЗАПАДА РОССИИ**.....16**

БАХМЕТ О.Н., МЕДВЕДЕВА М.В. ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОБОЦЕНОЗА ПОЧВ ЛЕСНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМ (НА ПРИМЕРЕ “ГОРНОГО ПАРКА РУСКЕАЛА”) **. 19**

БАШКИН В.Н., ПРИПУТИНА И.В. КРИТИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ ЭВТРОФИРУЮЩИХ И ПОДКИСЛЯЮЩИХ СОЕДИНЕНИЙ АЗОТА ДЛЯ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ РЕСПУБЛИКИ КОМИ В ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА **.....21**

БРЯНИН С.В., КОНДРАТОВА А.В. ВЛИЯНИЕ ПОСТПИРОГЕННОГО УГЛЯ НА РАЗЛОЖЕНИЕ ОПАДА В БОРЕАЛЬНЫХ ЛЕСАХ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА**.....23**

ВАЛДАЕВА Е.В., ЛЯБЗИНА С.Н. К ИЗУЧЕНИЮ ВИДОВОГО РАЗНООБРАЗИЯ РАКОВИННЫХ АМЕБ (RHIZOPODA, TESTACEA) СОСНОВЫХ БИОГЕОЦЕНОЗОВ КАРЕЛИИ**.....28**

ВАСЕНКОВА Н.В., САРАЕВА А.К., КУЗНЕЦОВА Н.А.СТРУКТУРА РАЗНООБРАЗИЯ КОЛЛЕМБОЛ В ПОЧВАХ ЛЕСОВ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ**.....31**

ВИЛКОВА В.В. ВЛИЯНИЕ РУБОК ЛЕСА НА ФЕРМЕНТАТИВНУЮ АКТИВНОСТЬ КОРИЧНЕВЫХ ПОЧВ **.....33**

ВОЙТЕХОВ М.Я.ОСОБЕННОСТИ ФАУНЫ ДОЖДЕВЫХ ЧЕРВЕЙ ПОД НЕКОТОРЫМИ ТИПАМИ ДРЕВЕСНОЙ И ЛУГОВОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ В МОСКВЕ И МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ**.....35**

ГАВРИЛЮК Е.А., КУЗНЕЦОВА А.И. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СОДЕРЖАНИЯ АЗОТА И УГЛЕРОДА В ЛЕСНОЙ ПОДСТИЛКЕ НА ОСНОВЕ ИЗМЕРЕНИЙ СЕТИ НАЗЕМНОГО МОНИТОРИНГА ICP FORESTS И 7ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ ИЗ КАТАЛОГА GOOGLE EARTH ENGINE **.....37**

ГАСАНОВ М.Э., ПЕТРОВСКАЯ А.Ю., ТРЕГУБОВА П.Н., ИВАНОВ А.Б., КЕДРОВ А.В., ПУКАЛЬЧИК М.А. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛИ SIMWE (SIMULATED WATER EROSION) В КРАСНОБОРСКОМ ЛЕСНИЧЕСТВЕ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ**.....40**

ГАФУРОВ Ф.Г., КОРКИНА И.Н. ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА И СТРУКТУРЫ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ГОРНЫХ СИСТЕМ СРЕДНЕГО УРАЛА**.....42**

ГЕРАСЬКИНА А.П., КУЗНЕЦОВА А.И., ТЕРЕХОВА Д.А., ТИХОНОВА Е.В., СЕМЕНКОВ И.Н. ДИНАМИКА ПОЧВЕННОЙ ФАУНЫ И МОЩНОСТИ ПОДСТИЛКИ В ПОСТАГРОГЕННЫХ ПОЧВАХ СОСНОВЫХ ЛЕСОВ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «СМОЛЕНСКОЕ ПООЗЕРЬЕ»**.....45**

ГОРБАЧ Н.М., СТАРЦЕВ В.В., ПРОКУШКИН А.С., ДЫМОВ А.А. ПИРОГЕННАЯ АКТИВНОСТЬ В УСЛОВИЯХ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ РЕСПУБЛИКИ КОМИ И КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ В ГОЛОЦЕНЕ.....**48**

ГОРДИЕНКО О.А. ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ И ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГОРОДСКИХ ПОЧВ В РЕКРЕАЦИОННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ Г. ВОЛГОГРАДА.....**50**

ГРОДНИЦКАЯ И.Д., СЕНАШОВА В.А., ПАШКЕЕВА О.Э., АНТОНОВ Г.И. МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ ИНДИКАЦИЯ ПОЧВ ЗОНЫ СУХОЙ СТЕПИ В ИСКУССТВЕННЫХ ФИТОЦЕНОЗАХ ПОСЛЕ ПОЖАРА И АГРОТЕХНИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ (Р. ХАКАСИЯ).....**52**

ДАНИЛОВ Д.А., БЕЛЯЕВА Н.В., АНИСИМОВА И.М. ВЛИЯНИЕ ПОЧВЕННЫХ ФАКТОРОВ НА ПОСТПИРОГЕННОЕ ВОЗОБНОВЛЕНИЕ ДРЕВЕСНЫХ ПОРОД В ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ. **57**

ДЕСЯТКИН Р.В., ЛЕСОВАЯ С.Н., ОКОНЕШНИКОВА М.В., ИВНОВА А.З. СЛАБОДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫЕ ДЕРНОВО-ПАЛЕВЫЕ ПОЧВЫ ЛЕСНОГО СТАЦИОНАРА ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ.....**60**

ДЖАЛИЛОВА Г.Т., АКРАМОВНА Г.Л., БОТМАН Е.К. ТЕХНОЛОГИЯ ЛЕСОРАЗВЕДЕНИЯ ДЛЯ ЗАЩИТНОЙ ФУНКЦИИ ЛЕСНЫХ ПОЧВ АРИДНОЙ ЗОНЫ ОТ ЭРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ.....**63**

ДЫМОВ А.А., СТАРЦЕВ В.В, ГОРБАЧ Н.М., ГАБОВ Д.Н. ДИАГНОСТИКА ПИРОГЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПОЧВ.....**65**

ЕРМОЛОВ С.А. ПРОБЛЕМА ОЦЕНКИ БИОМАССЫ ДОЖДЕВЫХ ЧЕРВЕЙ ПРИ ФИКСАЦИИ И ХРАНЕНИИ**67**

ЕЛИСЕЕВА Н.В., НОВЫХ Л.Л. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АНТРОПОГЕННО ПРЕОБРАЗОВАННЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ КУБАНИ.....**69**

ЕЛИСЕЕВА Н.В., СЛЮСАРЕНКО Э.Е. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛЕСНЫХ ПОЧВ ЗАПАДНОГО ПРЕДКАВКАЗЬЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ. **72**

ЕНЧИЛИК П.Р., СЕМЕНКОВ И.Н., САМОНОВА О.А., КАСИМОВ Н.С. ОЦЕНКА ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И СОДЕРЖАНИЯ ПОДВИЖНЫХ ФОРМ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВАХ ЮЖНОТАЁЖНОЙ КАТЕНЫ ЦЕНТРАЛЬНО-ЛЕСНОГО ЗАПОВЕДНИКА (ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ) **74**

ЕРМАКОВА М.В. ВЛИЯНИЕ ПОЧВЕННОГО СУБСТРАТА НА ВОЗОБНОВЛЕНИЕ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ**76**

ЕРМАКОВА М.В. ВЛИЯНИЕ ПОЧВЕННО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА РОСТ СЕЯНЦЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В ЛЕСНОЙ И ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЕ ЗАУРАЛЬЯ.....**78**

ЗАМОЛОДЧИКОВ Д.Г., КАГАНОВ В.В. ВЛИЯНИЕ ЛЕСНЫХ ПОСАДОК НА ЭМИССИЮ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА С ПОВЕРХНОСТИ ПОЧВЫ В ПОВОЛЖЬЕ И ПОДОНЬЕ **80**

ЗУБКОВА Е.В., ПРИПУТИНА И.В., АНДРЕЕВА М.В. ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ ПОЧВЕННЫХ УСЛОВИЙ НА ПОСТОЯННЫХ ПРОБНЫХ ПЛОЩАДЯХ МЕТОДАМИ ФИТОИНДИКАЦИИ. **82**

ИВАНОВА Е.А., ЛУКИНА Н.В., СМИРНОВ В.Э, ИСАЕВА Л.Г. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ОПАДА ХВОИ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В СЕВЕРОТАЕЖНЫХ СОСНОВЫХ ЛЕСАХ В УСЛОВИЯХ АЭРОТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ. **85**

ИВАНОВА Е.А., КОСТЕНКО И.В., ВАСИЛЬЕВА Н.А., АНДРОНОВ Е.Е., ЗВЕРЕВ Е.О., АБАКУМОВ Е.В. ВЛИЯНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НАСАЖДЕНИЙ ЛИСТВЕННИЦЫ НА ПРОКАРИОТНОЕ СООБЩЕСТВО ГОРНО-ЛУГОВЫХ ПОЧВ (П-ОВ КРЫМ). **90**

ИЛЬИНЦЕВ А.С., РАЙ С.А., РАЙ Е.А., НАКВАСИНА Е.Н. ВОЗДЕЙСТВИЕ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ НА ПОЧВЫ: ПОСТАНОВКА МОНИТОРИНГОВОГО ЭКСПЕРИМЕНТА **92**

ИЛЮШКОВА Е.М., ТИХОНОВА М.В., ЕРМАКОВ С.Ю. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ДИНАМИКИ N_2O И CO_2 НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДСКОГО ЛЕСА В Г. МОСКВА **.....94**

КАЗЕЕВ К.Ш. БИОЛОГИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЧВ **.....96**

КАРАВАНОВА Е.И., ЗОЛОВКИНА Д.Ф. УСТОЙЧИВОСТЬ ВОДОРАСТВОРИМЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ ЛЕСНЫХ ПОДСТИЛОК В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИХ СВОЙСТВ И СОСТАВА РАСТИТЕЛЬНЫХ ОСТАТКОВ **...99**

КАРМИНОВ В.Н., МАРТЫНЕНКО О.В., ОНТИКОВ П.В., МАКСИМОВА А.Н. СОЗДАНИЕ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА ДЛЯ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЧВ **.....102**

КВИТКИНА А.К., ДУДАРЕВА Д.М., СМИРНОВ Н.С. БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ВЕРХНЕГО СЛОЯ ПОЧВЫ ХВОЙНЫХ ЛЕСОВ ПЕЧОРО-ИЛЫЧСКОГО ЗАПОВЕДНИКА**.....104**

КЛИМЕНКО О.Е., КЛИМЕНКО Н.И. ВЛИЯНИЕ ВИДОВ ЗЕЛЕНЫХ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ НА СВОЙСТВА ЧЕРНОЗЕМОВ СЕГРЕГАЦИОННЫХ КРЫМА **.....106**

КОРКИНА И.Н., ВОРОБЕЙЧИК Е.Л. ЭВОЛЮЦИЯ ФОРМ ГУМУСА ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ В РАЙОНАХ МНОГОЛЕТНЕГО ПРОМЫШЛЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ**.....109**

КОРМИЛИЦЫНА О.В., ВАСИЛЬЕВ С.Б., БОНДАРЕНКО В.В. СВОЙСТВА ПОЧВЫ И ОСОБЕННОСТИ РОСТА ЛИСТВЕННИЦЫ СИБИРСКОЙ НА ПЕСЧАНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТВАЛАХ ЕГОРЬЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ФОСФОРИТОВ МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ**.....112**

КОРНЕЙКОВА М.В., НИКИТИН Д.А., ВАСЕНЕВ В.И., ДОЛГИХ А.В. МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГОРОДСКИХ И ЛЕСНЫХ ПОЧВ КОЛЬСКОЙ СУБАРКТИКИ**.....114**

КОШЕЛЕВ А.В., КОСТИН М.В. ЛЕСОПРИГОДНОСТЬ КАШТАНОВЫХ ПОЧВ ДЛЯ ПОЛЕЗАЩИТНОГО ЛЕСОРАЗВЕДЕНИЯ **.....116**

КОШЕЛЕВ А.В. ПОТЕНЦИАЛ РАЗВИТИЯ НИЗКОУГЛЕРОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В АГРОЛЕСОМЕЛИОРАЦИИ**118**

КУЗНЕЦОВ М.А., БОБКОВА К.С. ПУЛЫ И ПОТОКИ УГЛЕРОДА В КОРЕННЫХ ЕЛОВЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ**.....121**

КУДРЕВАТЫХ И.Ю., ГЕРАСЬКИНА А.П., СМИРНОВА О.В. ВАРИАТИВНОСТЬ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА РАСТЕНИЙ И ПОЧВ В ЛЕСАХ ПЕЧОРО-ИЛЫЧСКОГО И ВИСИМСКОГО ЗАПОВЕДНИКОВ**.....123**

КУПРИЯНОВА Ю.В., КОПЦИК Г.Н., КАДУЛИН М.С., ИЛЬЯСОВ Д.В. КОМБИНИРОВАННОЕ ВЛИЯНИЕ БИОТИЧЕСКИХ И АБИОТИЧЕСКИХ СТРЕСС-ФАКТОРОВ НА ЭМИССИЮ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА ПОЧВАМИ В ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ В УСЛОВИЯХ МЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА**.....125**

ЛЕ КХАНЬ ВУ, НЕШАТАЕВ В.Ю. ФИТОИНДИКАЦИЯ ВОДНОГО РЕЖИМА, КИСЛОТНОСТИ И ЗАПАСОВ АЗОТА В ПОЧВЕ В ДРЕВЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЯХ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА И ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ**.....130**

ЛИХАНОВА Н.В. БОБКОВА К.С. КРУГОВОРОТ АЗОТА И ЗОЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В СТАРОВОЗРАСТНОМ ЕЛЬНИКЕ НА БОЛОТНО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ.. **.....132**

ЛИХАНОВА И.А., ДЕНЕВА С.В., КУЗНЕЦОВА Е.Г., ЛАПТЕВА Е.М., ХОЛОПОВ Ю.В., УЛЯШЕВ А.В. ВЛИЯНИЕ РЕЛЬЕФА НА ФОРМИРОВАНИЕ ЛЕСНЫХ ПОЧВ В ПРОЦЕССЕ САМОВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ СУКЦЕССИИ В ПОДЗОНЕ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ (РЕСПУБЛИКА КОМИ) **.....134**

МАТВИЕНКО А.И., СИДЕЛЕВА Е.В., МЕНЯЙЛО О.В. ВЛИЯНИЕ N НА МИНЕРАЛИЗАЦИЮ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА И ЕЕ ТЕМПЕРАТУРНУЮ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ В ПОЧВАХ ЕЛЬНИКА И ЛЕСНОЙ ПОЛЯНЫ **.....136**

МАХНЫКИНА А.В., ПОЛОСУХИНА Д.А., ПРОКУШКИН А.С. ДИНАМИКА ЛЕТНЕГО ЭМИССИОННОГО ПОТОКА CO_2 С ПОВЕРХНОСТИ ПОЧВ В СОСНОВЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ СИБИРИ: КОЛИЧЕСТВО ОСАДКОВ КАК ОПРЕДЕЛЯЮЩИЙ ФАКТОР.....**138**

МЕДВЕДЕВА М.В., БАХМЕТ О.Н., МОШКИНА Е.В., МАМАЙ А.В. ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ МИКРОБИОТЫ ПОЧВ СОСНЯКА БРУСНИЧНОГО СРЕДНЕТАЕЖНОЙ ПОДЗОНЫ КАРЕЛИИ(НА ПРИМЕРЕ ЗАПОВЕДНИКА «КИВАЧ») **140**

МОЛЧАНОВ А.Г. ГАЗООБМЕН CO_2 С ПОВЕРХНОСТИ ПОЧВЫ НА ВЫРУБКЕ ПОД РАЗНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТЬЮ **142**

МОШКИНА Е.В., МАМАЙ А.В. ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ЭМИССИЮ CO_2 С ПОВЕРХНОСТИ ПОЧВ ЕЛОВЫХ И СОСНОВЫХ ЛЕСОВ В УСЛОВИЯХ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ. **145**

НАЛИВАЙЧЕНКО А.А., СКРИПНИКОВ П.Н., ГОРБОВ С.Н., МАТЕЦКАЯ А.Ю. БИОРАЗНООБРАЗИЕ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА НЕКОТОРЫХ ИСКУССТВЕННЫХ ЛЕСОНАСАЖДЕНИЙ Г. РОСТОВ-НА-ДОНУ **147**

НГУЕН В.Т., ОКОЛЕЛОВА А.А., НЕФЕДЬЕВА Е.Э., ДИНЬ Т.В.А. ЛЕСНЫЕ ПОЧВЫ ЮЖНОГО ВЬЕТНАМА.....**149**

НЕВЕДРОВ Н.П., ФОМИНА М.Ю., ПОПОВА Г.И., БАЙДАК Е.А., КУЗНЕЦОВА Е.А. ТРАНСФОРМАЦИЯ ПЕСЧАНЫХ АЛЬФЕГУМУСОВЫХ ПОЧВ ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА. **151**

ОСИПОВ А.Ф. ЭФФЕКТ СПЛОШНОЙ РУБКИ СРЕДНЕТАЕЖНОГО СОСНЯКА ЧЕРНИЧНОГО НА ЭМИССИЮ CO_2 С ПОВЕРХНОСТИ ПОЧВЫ. **153**

ПЛЕХАНОВА Л.Н., ТУПАХИНА О.С., КОЛЕСНИКОВ Р.А. ПАЛЕОПОЧВЕННОЕ ИЗУЧЕНИЕ МНОГОСЛОЙНЫХ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАМЯТНИКОВ НА СУПЕСЯХ СЕВЕРНОЙ ТАЙГИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ **156**

ПЛУГАТАРЬ Ю.В., КОБА В.П., ПАПЕЛЬБУ В.В., НОВИЦКИЙ М.Л. ФЛУКТУАЦИЯ ПОГОДНЫХ ЯВЛЕНИЙ И ДИНАМИКА ПОЧВЕННЫХ УСЛОВИЙ В ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ГОРНОГО КРЫМА.....**160**

ПОТОКИН А.Ф., ИГНАТЬЕВА О.В. ЭКОЛОГО-ДИНАМИЧЕСКИЙ РЯД АЛЛЮВИАЛЬНЫХ СУКЦЕССИЙ В ПОЙМЕ РЕКИ ЛУГА (ЛЕНИНГРАДСКАЯ ОБЛАСТЬ) **163**

ПРИПУТИНА И.В., ЧЕРТОВ О.Г., ФРОЛОВ П.В., ШАНИН В.Н., ГРАБАРНИК П.Я. ВКЛАД КОРНЕВЫХ ЭКСУДАТОВ В ЭМИССИЮ CO_2 И ДОСТУПНОСТЬ АЗОТА В ЛЕСНЫХ ПОЧВАХ: ИМИТАЦИОННЫЕ ОЦЕНКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМА, УЧИТЫВАЮЩЕГО ЭФФЕКТЫ ПРАЙМИНГА И ПОЧВЕННЫХ ТРОФИЧЕСКИХ СЕТЕЙ.....**165**

РАЗГУЛИН С.М. ВЛИЯНИЕ ТРОФИЧЕСКОЙ РОЛИ ПОПУЛЯЦИИ ЛОСЯ (ALCES ALCES L.) НА ПРОЦЕССЫ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПОЧВЫ В ЭКОСИСТЕМАХ ЮЖНОЙ ТАЙГИ ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ **168**

РАМАЗАНОВА Ф.М., БАБАЕВ М.П., БАБАЕВА Р.И. ГОРНЫЕ КОРИЧНЕВЫЕ ЛЕСНЫЕ «ТИПИЧНЫЕ» ПОЧВЫ АЗЕРБАЙДЖАНА **170**

РЕВИНА О.А., РЕВИН А.Г. ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ СО ВТОРЫМ ГУМУСОВЫМ ГОРИЗОНТОМ НА ТЕРРИТОРИИ СМОЛЕНСКОЙ ОБЛАСТИ **172**

САБИРОВ Р.Н. СТРУКТУРА И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЛЕСОВ САХАЛИНА КАК ОТРАЖЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНОГО ВЛИЯНИЯ КЛИМАТА И ПОЧВЫ. **174**

САМСОНОВА И.Д., САТТАРОВ В.Н., МАННАПОВ А.Г. ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА МЕДОСБОР СТЕПНОГО ПРИДОНЬЯ **176**

СЕМЕНКОВ И.Н., ТИХОНОВА Е.В., ТИТОВЕЦ А.В., ШОПИНА О.В., КУЗНЕЦОВА А.И., ГЕРАСЬКИНА А.П., ХОХРЯКОВ В.Р., БАВШИН И.М., КЛИНК Г.В. СТАДИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОЧВ И РАСТИТЕЛЬНОСТИ СМОЛЕНСКОГО ПООЗЕРЬЯ ПОСЛЕ РАСПАШКИ: ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛЕВЫХ РАБОТ 2021 Г. НА ПРИМЕРЕ СОСНОВЫХ ЛЕСОВ **.....181**

СЕРЕДА Л.Н. ВЛИЯНИЕ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА БИОРАЗНООБРАЗИЕ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА **.....184**

СОЛОДОВНИКОВ А.Н. АНАЛИЗ ДЕСТРУКЦИИ ХВОИ В ПОДСТИЛКАХ РАЗЛИЧНЫХ МИКРОГРУПП НАПОЧВЕННОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ СОСНЯКА БРУСНИЧНОГО**. 186**

СОРОКИНА О.А. ЭКОЛОГО-ФИТОЦЕНОТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИСКУССТВЕННЫХ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ НА БИОЛОГИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ ПОЧВ **.....188**

СТАРЦЕВ В.В., ЯКОВЛЕВА Е.В., ГОРБАЧ Н.М., ПРОКУШКИН А.С., ДЫМОВ А.А. ПИРОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПОДЗОЛОВ ИЛЛЮВИАЛЬНО-ЖЕЛЕЗИСТЫХ (СРЕДНЕЕ ТЕЧЕНИЕ ЕНИСЕЯ, КРАСНОЯРСКИЙ КРАЙ)**....190**

СУРИНА Е.А., ГОРБУНОВА С.В. БЮДЖЕТ УГЛЕРОДА ПОЧВ В ЛЕСАХ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ **..192**

СУХОВЕЕВА О.Э., КАРЕЛИН Д.В., КУМАНЯЕВ А.С. ОЦЕНКА ОТКЛИКА ДЫХАНИЯ ПОЧВЫ НА ПОТЕПЛЕНИЕ КЛИМАТА С ПОМОЩЬЮ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ МОДЕЛИ T&P НА ПРИМЕРЕ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛОВ ЮЖНОЙ ТАЙГИ**.....194**

ТАСКАЕВА А.А., КУДРИН А.А. КОРНЕВЫЕ ВЫДЕЛЕНИЯ НЕ ОКАЗЫВАЮТ ВЛИЯНИЕ НА СТРУКТУРУ НАСЕЛЕНИЯ КОЛЛЕМБОЛ В БОРЕАЛЬНОМ ЛЕСУ **.....196**

ФИЛИМОНОВА А.В., ШИХОВА Л.Н., КОНОНОВА О.Е. ДИНАМИКА ЛЕСНЫХ СООБЩЕСТВ НА ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРО-ВОСТОКА ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ В ГОЛОЦЕНЕ**. 198**

ХАЙДАРОВ Е.К., КАШИН А.А. ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ РАЗВИТИЕ БИОТЫ И ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА В СВЯЗИ С ГЛОБАЛЬНЫМ ПОТЕПЛЕНИЕМ (НА ПРИМЕРЕ БАССЕЙНА НИЖНЕГО ТОБОЛА)**.....200**

ХАНИНА Л.Г., ИВАЩЕНКО К.В., ЖУРАВЛЕВА А.И., СМИРНОВ В.Э., БОБРОВСКИЙ М.В., ЖМАЙЛОВ И.В. ОСОБЕННОСТИ ПОЧВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОСЛЕ МАССОВОГО ВЕТРОВАЛА В ПОЛИДОМИНАНТНОМ ШИРОКОЛИСТВЕННОМ ЛЕСУ В ЭКОТОПЕ ФЛЮВИО-ГЛЯЦИАЛЬНЫХ ПЕСКОВ**.....203**

ХУСАИНОВ Р.В. СООБЩЕСТВА ПОЧВЕННЫХ НЕМАТОД ШИРОКОЛИСТВЕННЫХ ЛЕСОВ РЕГИОНОВ ЗАПАДНОГО ПОВОЛЖЬЯ**. 206**

ЧЕРДАКОВА А.С., ГАЛЬЧЕНКО С.В. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПРОТЕОЛИТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ **..... 209**

ЧЕСТНЫХ О.В., ГРАБОВСКИЙ В.И., ЗАМОЛОДЧИКОВ Д.Г. ОЦЕНКА ЗАПАСОВ ПОЧВЕННОГО УГЛЕРОДА ЛЕСНЫХ РАЙОНОВ РОССИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БАЗ ДАННЫХ ПОЧВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК **212**

ШАБАНОВА Н.П., ЯРОСЛАВЦЕВ А.М., СЕРЕГИН И., ФАРЕЕВА О. ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ IOT ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ЗЕЛЁНЫХ НАСАЖДЕНИЙ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ЗАСОЛЕНИЯ ПОЧВ**. 214**

ШАРАПОВА А.В., СЕМЕНКОВ И.Н., КРЕЧЕТОВ П.П., ЛЕДНЕВ С.А., КОРОЛЕВА Т.В. БИОХИМИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ЛЕСНЫХ ПОЧВ, ЗАГРЯЗНЁННЫХ КЕРОСИНОМ (ПОЛЕВОЙ ЭКСПЕРИМЕНТ В ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ СМОЛЕНСКО-МОСКОВСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ)**. 216**

ШОПИНА О.В., ГЕРАСИМОВА М.И., БАВШИН И.М., ХОХРЯКОВ В.Р., СЕМЕНКОВ И.Н. ПЕРВАЯ ВЕРСИЯ ПОЧВЕННОЙ КАРТЫ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА "СМОЛЕНСКОЕ ПООЗЕРЬЕ"**. 219**

ШОРОХОВА Е.В., КАПИЦА Е.А. РОЛЬ КРУПНЫХ ДРЕВЕСНЫХ ОСТАТКОВ В ПОЧВООБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССАХ В ТАЕЖНЫХ И ТРОПИЧЕСКИХ ЛЕСАХ **221**

ШУМИЛОВА Ю.Н., НАКВАСИНА Е.Н. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НАКОПЛЕНИЯ УГЛЕРОДА ОТДЕЛЬНЫМИ КОМПОНЕНТАМИ БИОГЕОЦЕНОЗА НА ЗАЛЕЖАХ С РАЗЛИЧНЫМИ ЛИТОЛОГИЧЕСКИМИ УСЛОВИЯМИ ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ В КАРГОПОЛЬСКОМ И ЛЕНСКОМ РАЙОНАХ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ…….**224**

ШХАПАЦЕВ А.К., СОЛДАТОВ В.П., КАЗЕЕВ К.Ш. ЭМИССИЯ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА С ПОВЕРХНОСТИ НАРУШЕННЫХ РУБКАМИ ПОЧВ ЗАПАДНОГО КАВКАЗА **227**

СОЗДАНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ ПОЧВ ЛЕСНЫХ ЗЕМЕЛЬ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННОГО РЕЕСТРА ПОЧВ БЕЛАРУСИ

Т.Н. АЗАРЕНОК, О.В. МАТЫЧЕНКОВА, Д.В. МАТЫЧЕНКОВ, С.В. ДЫДЫШКО, Е.Д. АНАНЬКО

Республиканское научное дочернее унитарное предприятие
"Институт почвоведения и агрохимии", г. Минск

Ключевые слова: *база данных, лесные земли, почвенная разновидность, почвенный горизонт, почвенный профиль, состав и свойства почв, структурный блок, электронный реестр*

В целях информационного обеспечения научно-исследовательских работ, рационального природопользования на основе имеющейся информации картографического, описательного и аналитического характера в республике Беларусь разработана и создана Справочная почвенно-информационная система (СПИС) «Электронный реестр почв Беларуси» как составная, но в определенной мере независимая часть Почвенной Информационной Системы Беларуси (ПИСБ) 1-го уровня обобщения (республиканский уровень). Пространственная основа этой почвенно-информационной системы представлена мелкомасштабной электронной почвенной картой Беларуси (М 1:2500000), различными картосхемами и картограммами, созданными инструментами ГИС. Атрибутивная основа СПИС включает Тематические каталоги, Базу данных репрезентативных почвенных профилей, характеризующих наиболее распространенные почвенные разновидности сельскохозяйственных земель республики по 130 показателям, включающие соподчиненные информационные блоки, содержащие систематизированные научные сведения текстового, цифрового и графического формата.

При выполнении научных исследований по изучению редких и уникальных почв Беларуси, трансформации почв пахотных земель республики, степени их устойчивости к антропогенным воздействиям, нами была накоплена, инвентаризирована, систематизирована морфолого-аналитическая информация о лесных почвах республики, которая позволила создать новую специализированную Базу данных почв лесных земель (БДПЛЗ) для включения в Электронный реестр почв Беларуси.

БДПЛЗ включает текстовые и количественные данные применительно к 45 репрезентативным почвенным разрезам, характеризующих почвенные разновидности доминирующие в компонентном составе почвенного покрова лесных земель всех почвенно-экологических провинций республики и полным набором аналитических показателей состава и свойств, а также количественные данные состава и свойств лесных почв (дерново-карбонатных, бурых лесных, дерново-подзолистых, дерново-подзолистых заболоченных, дерновых заболоченных, дерново-карбонатных заболоченных, аллювиальных дерновых заболоченных, торфяных низинных, верховых и антропогенно-преобразованных) по 2050 разрезам, полученные при систематизации архивных и фондовых материалов II тура крупномасштабного почвенного картографирования лесных земель, выполненных по общепринятым методам. Массив данных отражают следующие структурные блоки:

– 1 блок включает поля, содержащие пространственную привязку почвенного разреза (долгота, широта, высота над уровнем моря, область, лесхоз, лесничество, номер квартала, номер выдела, дата закладки разреза, код базы данных по разрезу, источник информации);

– 2-ой блок состоит из полей, вмещающих агроклиматические параметры местности, в которой сформирована почва, представленная одноименным разрезом;

– 3-ий блок содержит типовую характеристику леса (тип леса, бонитет, возраст, полнота, средний диаметр деревьев, подлесок, напочвенный покров);

– 4-ый блок содержит характеристику классификационного положения почвы согласно Примерному номенклатурному списку почв Беларуси (для целей крупномасштабного почвенного картографирования), 2013 г., Мировой Реферативной Базе Почвенных Ресурсов 2014 г.;
– 5-ый блок представляет собой морфолого-генетическую характеристику почвенного профиля разреза (фотография разреза, индексировка и название генетических горизонтов, верхняя и нижняя границы, мощность, цвет, влажность, плотность, структура, включения и новообразования, характер перехода и форма границ);
– 6-ый блок содержит характеристику генезиса почвообразующих и подстилающих пород почвы, характеристику гранулометрического состава почвообразующих и подстилающих пород (содержание ила, физической глины и отдельных фракций);
– 7-ый блок содержит характеристику минералогического и валового химического составов почвы и ее илистой фракции;
– 8-ой блок содержит поля с водно-физическими показателями почвы (плотность сложения, влажность и др.);
– 9-ый блок включает показатели гумусного состояния почвы (общее содержание гумуса, содержание азота, органического углерода, групповой и фракционный состав гумуса);
– 10-ый блок представляет собой поля с аналитикой агрохимических свойств почвы (pH солевой вытяжки, содержание общего гумуса и общего углерода, азота, гидролитической кислотности, емкости катионного обмена, суммы поглощенных оснований, степени насыщенности основаниями, содержанием подвижных фосфора, калия, микроэлементов;
– 11-ый блок включает методы определения состава и свойств почвенных образцов.

DEVELOPMENT OF THE FOREST LAND SOIL DATABASE FOR THE ELECTRONIC REGISTER OF SOILS OF BELARUS

T.N. AZARENOK, O.V. MATYCHENKOVA, D.V. MATYCHENKOV, S.V. DYDYSHKO, E.D. ANANKO

Key words: *forest land, database, electronic register, soil variety, soil profile, structural block, soil horizon, composition and properties of soils*

МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА И АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ У ВЕРХНЕЙ ГРАНИЦЫ РАСПРОСТРАНЕНИЯ КОРИЧНЕВЫХ ПОЧВ НА ЮЖНОМ БЕРЕГУ КРЫМА. РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ И ВАРИАНТЫ ПРОГНОЗА

В.В. АНТЮФЕЕВ

Никитский ботанический сад, г. Ялта

Ключевые слова: *климатические тренды, коричневые почвы, статистические характеристики температуры воздуха и количества осадков, субтропический климат, Южный берег Крыма*

В большинстве схем физико-географического районирования Крымского полуострова верхняя граница Южного берега (ЮБК) проходит на высоте 300-350 м над уровнем моря (н.у.м.). Считается, что к этим отметкам приурочена нижняя граница распространения чистых сосновых лесов и здесь коричневые почвы сухих лесов и кустарников сменяются бурыми горнолесными почвами. Но многолетнее изучение Р.Н. Казимировой лесорастительных свойств почв ЮБК позволило ей высказать утверждение, что коричневые почвы распространяются только до высоты 200-250 м н.у.м. (Казимирова, 2005). Проводившиеся независимо от этих работ мезо- и микроклиматологические исследования показали, что именно в приморской полосе до 220-250 м н.у.м. (и не выше) статистические значения термических показателей соответствуют агроклиматологическим критериям субтропичности (Антюфеев, 1988, 2015; Рябов и др., 2002).

На территории ЮБК в разные годы действовали 16 метеостанций и 29 постов (Антюфеев, 2019), три из них – на верхней границе коричневых почв: Никитская дача (366 м н.у.м., работала с 1903 по 1931 г.), Табачная плантация (220 м, 1915-1935 гг.) и Никитский сад (208 м, с 1929 г. по настоящее время). Материалы наблюдений последней положены в основу нашей работы, целью которой было оценивание методами математической статистики многолетней (за 90 лет) динамики комплекса метеорологических показателей ЮБК.

Установлено, что периодом с малой повторяемостью пониженных среднемесячных температур и максимумом случаев положительных отклонений от нормы были 2000-2020 гг. Наибольшей однородностью термического режима характеризуется десятилетие 1960-1969 гг. Десятилетие 1950-1959 гг., рекордное по числу случаев значительного отклонения средних месячных температур в отрицательную сторону, стало таким не столько вследствие нескольких очень суровых зим (1950, 1954, 1956 гг.), сколько из-за ряда холодных (на 3,5-5,5°С ниже нормы) осенних месяцев.

Экстраполируя линии тренда температурных кривых, представленных в сглаженном виде (скользящим осреднением за пяти- и одиннадцатилетние периоды), предпочтение следует отдать линейной либо квадратичной модели; полиноминальные линии тренда 3-й и 4-й степени рисуют нереально большой рост среднегодовой температуры – почти на 3°С за 10 лет. Слабой тенденцией к потеплению характеризуются среднемесячные температуры января, февраля, апреля, июня, сентября и октября. Для температуры мая, июля, августа прогнозируется умеренное, а для марта довольно сильное повышение в ближайшие годы. Умеренной отрицательной тенденцией отличается ноябрь и довольно сильной отрицательной декабрь. Для года в целом и любого из 12 месяцев показатель достоверности аппроксимации R^2 лежит между 0,001 и 0,083.

Относительно многолетней динамики количества атмосферных осадков можно сказать, что календарными десятилетиями со сравнительно ровным ходом их годовых сумм были 1940-е и 1970-е годы. Самая большая изменчивость месячных сумм отмечалась в 2000-2009 гг., а наименьшая за девять десятилетий – в 2010-2020 гг.

На основе анализа полного ряда наблюдений за 80 лет (1930-2009 гг.) установлено, что "графики многолетней динамики атмосферных осадков не дают однозначного ответа на вопрос о будущих тенденциях; в зависимости от того, какой модели развития отдано предпочтение, можно прогнозировать устойчивое слабое (если используется линейный тренд) либо весьма быстрое (используя полином второй степени) увеличение сумм, а полином пятой степени предсказывает после 2015 г. резкую смену периода роста увлажненности эпохой уменьшения сумм осадков" (Антюфеев, Костур, 2013). Как показали итоги осадкомерных наблюдений 2010-2020 гг., третий вариант прогноза полностью оправдался. Кривая хода скользящих 11-летних средних отражает перелом линии в 2014 г.; на графике 5-летних скользящих перелом хорошо выражен в 2016 г.

Очевидно, что только будущее покажет правоту оппонирующих сторон – сторонников либо противников теории глобального потепления климата. Материалы изучения локальных климатических закономерностей могут быть весьма полезны при исследовании явлений планетарного масштаба.

Исследование выполнено благодаря поддержке со стороны д.б.н. В.Ф. Иванова и д.с.-х.н. Н.Е. Опанасенко.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антюфеев В.В. Агроклиматический потенциал субтропического садоводства в Крыму // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2015. № 4 (54). С. 185–188.
2. Антюфеев В.В. Библиографический и климатологический анализ материалов метеорологического мониторинга на современной территории Ялтинского заповедника // Вопросы степеведения. 2019. № 15. С. 22-25.
3. Антюфеев В.В. Радиационный баланс и устойчивость горно-лесных экосистем в рекреационных районах Крыма // Сборник научных трудов Государственного Никитского ботанического сада. 1988. Т. 104. С. 140–152.
4. Антюфеев В.В., Костур Е.А. Многолетняя динамика атмосферных осадков в окрестностях мыса Мартьян (Южный берег Крыма). // Научные записки природного заповедника "Мыс Мартьян". 2013. Вып. 4. С. 78.
5. Казимирова Р.Н. Почвы и парковые фитоценозы Южного берега Крыма. Киев: Аграрна наука, 2005. 183 с.
6. Рябов В.А., Опанасенко Н.Е., Антюфеев В.В. Агроклиматическая оценка условий произрастания плодовых культур в Крыму. Ялта, 2002. 28 с.

LONG-TERM DYNAMICS OF AIR TEMPERATURE AND PRECIPITATION AT THE UPPER BOUNDARY OF THE DISTRIBUTION OF BROWN SOILS ON THE SOUTHERN COAST OF THE CRIMEA. RETROSPECTIVE ANALYSIS AND FORECAST OPTIONS

V.V. ANTYUFEYEV

Key words: *the Southern coast of Crimea, brown soils, subtropical climate, statistical characteristics of air temperature and precipitation, climate trends*

РОЛЬ РАСТИТЕЛЬНОСТИ В ФОРМИРОВАНИИ НЕОДНОРОДНОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ЛЕСНЫХ ПОДСТИЛОК ПОЧВ СОСНОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ (НА ПРИМЕРЕ РЕСП. КАРЕЛИЯ)

Г.В. АХМЕТОВА

Институт леса Карельского научного центра Российской академии наук,
ФИЦ "Карельский научный центр РАН", г. Петрозаводск

Ключевые слова: *катена, макроэлементы, микроэлементы, таежные экосистемы, Фенноскандия, флювиогляциальные отложения*

Воздействие растительного покрова на почву наиболее интенсивно проявляется в поверхностных органогенных горизонтах, и, как отмечают исследователи (Семенюк и др., 2020; Orlova et al., 2013), наибольшее варьирование морфологических, физических, а также химических свойств наблюдается обычно в лесных подстилках. Лесная подстилка является особым компонентом экосистемы, промежуточным звеном между растительностью, опадом и почвой (Богатырев, 1997). Изучение особенностей взаимосвязей в системе растение-лесная подстилка в настоящее время актуально в связи с тенденциями в изменении климатических показателей и трансформации растительного покрова.

Исследования влияния особенностей напочвенного растительного покрова на химический состав лесных подстилок проводились в Государственном Заповеднике «Кивач», который расположен в юго-восточной части Балтийского кристаллического щита в среднетаежной подзоне Восточной Фенноскандии. На территории распространения флювиогляциальных отложений, в чистом сосновом насаждении заложена ландшафтно-геохимическая катена. На автоморфных позициях и верхней части склона под сосняками брусничными формируются подзолы иллювиально-железистые, в нижней части под сосняком черничным – подзолы иллювиально-железистые глеевые. В подчиненных позициях рельефа под сосняком багульниково-сфагновым формируются торфяные болотные и торфяно-глеевые почвы переходного типа.

Напочвенный покров отличается бедностью видового состава, что является характерным для песчаных флювиогляциальных ландшафтов. Было исследовано восемь наиболее встречающихся в данных условиях видов растений напочвенного покрова – черника, брусника, мхи (*Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens* (Hedw.) Schimp., *Sphagnum magellanicum* Brid., *Polytrichum commune* Hedw.) и лишайники (*Cladonia rangiferina* (L.) Weber ex F.H. Wigg., *Cetraria islandica*). Химический состав изучаемых видов растений сильно варьирует и зависит от вида и фракции растения (Ахметова, 2021).

Результаты данного исследования показали, что варьирование содержания макро- и микроэлементов в лесных подстилках изучаемых почв очень высокое. Довольно высокие значения коэффициентов вариации характерны для микроэлементов – меди, никеля и хрома – более 70-80%, цинка, кобальта и марганца – 40-50%. Для макроэлементов также рассчитанные коэффициенты высоки – 40-50% для калия, натрия, 50-60% для фосфора и железа. Выявлены некоторые закономерности изменения химического состава подстилок в зависимости от занимаемой позиции в катене, а, следовательно, от характера напочвенного покрова.

Статистический анализ данных показал значимое влияние на содержание калия и марганца в лесных подстилках месторасположения почвы в градиенте увлажнения. В автоморфных условиях количество данных химических элементов больше, чем в подстилках почв, сформированных в полугидроморфных и гидроморфных условиях (достоверность различий $p<0,05$). Для цинка также прослеживается тенденция к изменению его

концентрации в подстилках в соответствии со степенью увлажнения. Изменчивость уровня содержания кальция и магния в подстилках изучаемых почв меньшая, не выявлено закономерностей изменения его содержания в градиенте увлажнение и при смене состава напочвенного покрова. Железо, в отличие от вышерассмотренных элементов, не является биогенным элементом, для него характерны низкие коэффициенты биологического поглощения (Ахметова, 2021). Варьирование его содержания в подстилках из-за изменения характера растительного покрова не выявлено. В то же время, наблюдается увеличение его содержания со степенью разложения подстилки, и чем больше в ней отмечается минеральных включений, тем больше железа. Содержание хрома, кобальта и никеля, как в растениях, так и в лесных подстилках изучаемых почв очень низкое. Не выявлено зависимости изменения их содержания от места, характера растительности и опада, изменения со степенью разложения подстилок также несущественны. Наблюдается неярко выраженная тенденция увеличения содержания хрома в оторфованных подстилках почв гидроморфных позиций ландшафта. Также отмечается значимое изменение ($p<0,05$) количества макро- (калий, кальций, магний, железо) и микроэлементов (марганец, цинк) связанное со степенью разложения лесной подстилки.

Таким образом, выявлены некоторые тенденции и закономерности в пространственной неоднородности химического состава лесных подстилок почв сосновых насаждений, сформированных в условиях распространения флювиогляциальных песчаных отложений.

Данные были получены с использованием оборудования ЦКП "Аналитическая лаборатория" ИЛ КарНЦ РАН. Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (Институт леса).

ЛИТЕРАТУРА

1. Ахметова Г.В. Особенности распределения макро-и микроэлементов в системе «почва-растение» в среднетаежных условиях Восточной Фенноскандии // Труды КарНЦ РАН. No 5. Сер. Экологические исследования. 2021. С. 5–19.
2. Богатырев Л. Г. Образование подстилок – один из важнейших процессов в лесных экосистемах // Почвоведение. 1997. № 4. С. 501–512.
3. Семенюк О.В., Телеснина В. М., Богатырев Л. Г., Бенедиктова А. И., Кузнецов Я. Д. Оценка внутрибиогеоценозной изменчивости лесных подстилок и травяно-кустарничковой растительности в еловых насаждениях // Почвоведение. № 1. С. 31–43.
4. Orlova M.A., Lukina N.V., Tutubalina O.V. et al. Soil nutrient's spatial variability in forest–tundra ecotones on the Kola Peninsula, Russia // Biogeochemistry. No. 113. P. 283–305.

THE ROLE OF VEGETATION IN THE FORMATION OF INHOMOGENEOUS CHEMICAL COMPOSITION OF FOREST LITTER OF PINE STANDS (KARELIA)

G.V. AKHMETOVA

Key words: *Fennoscandia, taiga, fluvioglacial deposits, macroelements, trace elements, catena*

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЛЕСНОГО ПОЖАРА НА ПОЧВЫ

Н.В. БАРАНОВСКИЙ, И.В. БАЧУРИН

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Ключевые слова: *лесной пожар, математическое моделирование, почва, тепловое воздействие*

Объектом исследования является почва, подверженная влиянию очага лесного пожара. Рассматривается структурно-неоднородный слой почвы с древесными включениями. Предмет исследования – закономерности процессов теплопереноса в структурно-неоднородном почвенном покрове. Цель работы – расчет температурного поля в структурно-неоднородном слое почвы в местах рубок для дальнейшей оценки возникновения и последствий лесных пожаров (Baranovskiy, 2020).
В процессе исследования сформулированы физическая и математическая модели теплопереноса в структурно-неоднородном слое почвы при воздействии очага лесного пожара. В результате исследования получены распределения температуры в структурно-неоднородном слое почвы при воздействии очага лесного пожара, что позволяет оценить степень термического повреждения и прогнозировать экологические последствия лесных пожаров. Основные технологические характеристики: программные реализации математических моделей теплопереноса в структурно-неоднородном слое почвы и оценки термического повреждения деревьев выполнены на языке программирования высокого уровня Pascal.

Настоящее исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, НТУ Сириус, ОАО «РЖД» и Образовательным фондом «Талант и успех», проект № 20-31-51001.

ЛИТЕРАТУРА

1. Baranovskiy N.V. (Ed.). Predicting, Monitoring, and Assessing Forest Fire Dangers and Risks. (2020). IGI Global. http://doi:10.4018/978-1-7998-1867-0

MATHEMATICAL MODELING OF THE IMPACT OF FOREST FIRE ON SOIL

N.V. BARANOVSKIY, I.V. BACHURIN

Key words: *mathematical modeling, soil, forest fire, thermal effect*

КРУГОВОРОТ УГЛЕРОДА В РАЗЛИЧНЫХ КОМПОНЕНТАХ ПОЧВ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ СЕВЕРО-ЗАПАДА РОССИИ

О.Н. БАХМЕТ

Отдел комплексных научных исследований Института леса Карельского научного центра Российской академии наук, ФИЦ "Карельский научный центр РАН", г. Петрозаводск

Ключевые слова: *биота, круговорот углерода, ненарушенные лесные экосистемы, органическое вещество почв*

Первые исследования по круговороту углерода в почвах лесных экосистем Карелии относятся к началу 60-х годов прошлого столетия. В это время шло интенсивное накопление данных о содержании элемента-биофила в различных блоках ненарушенного лесного сообщества, определены «ключевые» точки аккумуляции в биотических узлах, установлены пути его трансформации. В это время начинаются исследования в области установления экологических факторов, оказывающих влияние на процессы трансформации органического вещества, выявление роли биоты в данных процессах. В связи с усиление антропогенного воздействия на природу активно начинаются исследования по оценке изменения круговорота углерода в почвах антропогенно нарушенных экосистем. Работы данной области позволили выявить диапазон изменения свойств почв на фоне флуктуации среды, установить сенситивные показатели качества почв и происходящих в ней процессов. Данное направление в области исследования круговорота углерода в наземных экосистемах было значимым в те годы, не потеряло оно актуальности и в настоящее время (Бахмет, 2009; Лукина и др., 2010; Лукина и др., 2006; Подвезенная, Рыжков, 2010; Федорец и др., 2000). Особенно это обусловлено антропогенным воздействием, глобальным изменением климата на планете, «монетизацией» эмиссии CO_2 в атмосферу, и, следовательно, усилением природоохранных мероприятий (Bakhmet, Medvedeva, 2015; Hokkanen et al., 1995; Liski, 1995; Zinke, 1962).

В среднетаежной подзоне Карелии широко распространены подзолы иллювиально-железистые, сформировавшиеся под сосновыми древостоями. Они являются важным элементом лесных экосистем, играют большую роль в формировании их устойчивости к природно-техногенным воздействиям. Данные почвы всегда были объектом не только географического исследования, а также и генетического. Последнее, как известно, является основой при определении их классификационного положения. В этой связи были проведены исследования содержания углерода в различных компонентах 160-летнего сосняка брусничного. Почва – подзол иллювиально-железистый песчаный (Podzols). Разнообразные методы и приемы, используемые в работе, позволили установить основные углеродные пулы, генерализовать полученные результаты на среднетаежную подзону Карелии. На данном участке проводили оценку биомассы древостоя, подроста, подлеска, массу корней, запаса лесной подстилки, содержание гумуса в различных горизонтах почв. Также была проведена оценка микробиоты, ее вклад в общий углеродный пул изучаемых почв ненарушенных лесных экосистем.

При закладке пробной площади необходимо было соблюдение следующего: участок длительное время не испытывал антропогенного воздействия; тип леса был типичный на территории Восточной Фенноскандии; почва и почвообразующая порода также наиболее распространенная на данной территории; однородность морфометрических параметров и данных гранулометрического состава почвообразующих пород, что свидетельствовало бы об однородности исследуемых почв в ряду экотопа; отбор образцов для анализов

производился на протяжении всего года; выполнение анализов почв проводили по апробированным методикам. Морфологическое описание почв проводили согласно общепринятой методике. Почвы классифицировали в соответствии с методологиями по обследованию почв. В лаборатории, в подготовленных образцах почв определяли кислотно-щелочные показатели, содержание органического вещества и элементов минерального питания.

Было установлено, что свойства почв изменяются в различных растительных микрогруппировках, что согласуется с данными других исследователей (Карпачевский, 2007; Gallardo, Param, 2007). Деструкция опада растений-эдификаторов типа леса является ингибитором микробиологической активности почв, функциональная активность которого низкая. Мощные лесные подстилки являются аккумулятором органического вещества, разложение которых носит периодичный характер: максимальная деструкция происходит в первый год, постепенно процессы затухают. При этом отмечается очень низкая скорость разложения опада (коры) березы. Опад растений создает условия для адгезии клеток микроорганизмов, поддерживает пул элементов-биофилов. Лесные подстилки обеспечивают питанием корневую системы, создают условия для формирования микоризообразователей (Сенов и др., 1994). Экотопические условия определяют темп и направленность трансформации органического вещества, синтез гумуса. Велика роль минеральной части почвы в формировании общего баланса углерода. Формирование общего взаимодействия между биотой и экотопом приводит к вертикальному и горизонтальному движению вещества, общего пространственного континуума. На данном этапе развития древостоя он является устойчивым к постепенному изменению экологической обстановки, способным выполнять свои экологические функции.

Полученные данные комплексных исследований могут стать основой при проведении работ в условиях иного климатического сценария.

Работа выполнена в рамках государственного задания КарНЦ РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бахмет О.Н. Биохимические особенности органопрофилей лесных почв Карелии // Эколого-геохимические и биологические закономерности почвообразования в таежных лесных экосистемах. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2009. С. 88–100.
2. Карпачевский Л.О., Зубкова Т.А., Ташнинова Л.Н., Руденко Р.Н. Почвенный покров и парцеллярная структура лесного биогеоценоза // Лесоведение. 2007. № 6. Р. 107–113.
3. Лукина Н.В., Орлова М.А., Исаева Л.Г. Плодородие почв как основа взаимосвязи почва-растительность // Лесоведение. 2010. № 5. С. 45–56.
4. Лукина Н.В., Никонов В.В., Исаева Л.Г. Кислотность и питательный режим почв еловых лесов // Коренные еловые леса: биоразнообразие, структура, функции. СПб.: Наука, 2006. 298 с.
5. Лукина Н.В., Орлова М.А., Исаева Л.Г. Плодородие лесных почв как основа взаимосвязи почва–растительность // Лесоведение. 2010. № 5. Р. 45–56.
6. Подвезенная М.А., Рыжова И.М. Зависимость вариабельности запасов углерода в почве от пространственной структуры растительного покрова лесных биогеоценозов // Вестник Московского университета. Сер. 17. Почвоведение. № 4. 2010. С. 3–9.
7. Сенов С. Н., Банева Н. А., Смирнов А. П. Корненасыщенность и парцеллярная структура в высокопроизводительном ельнике //Лесоведение. 1994. №2. С.78-80.

8. Федорец Н.Г., Морозова Р.М., Бахмет О.Н. Почвенный покров лесных ландшафтов Карелии и его антропогенная динамика. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2000. 83 с.
9. Ingestad T. Mineral nutrient requirements of Vaccinium vitis-idaea and Vaccinium myrtillus // Phisiol. Plant. 1973. No. 29. P. 239–246.
10. Zinke P.J. The pattern of influence of individual forest trees on soil properties // Ecology. 1962. V. 43. P. 130–133.
11. Bakhmet O., Medvedeva M. Variations in soil properties upon artificial reforestation in Karelia // Contemporary Problems of Ecology. 2015. Vol. 8. Is. 7. P. 838–844.
12. Hokkanen T.J., Jarvienen E., Kuuluvainen T. Properties of top soil and the relationship between soil and trees in a boreal Scots pine stand // Silva Fennica. 1995. V. 29. No. 3. P. 189–203.
13. Liski J. Variation in soil organic carbon and thickness of soil horizons within a Boreal forest stand-effect of threes and implications for sampling // Silva Fenn. 1995. Vol. 29. P. 255–266.
14. Gallardo A., Param R. Spatial variability of soil elements in two plant communities of NW Spain // Geoderma. 2007. Vol. 139. P. 139–208.

CARBON CYCLE IN VARIOUS SOIL COMPONENTS OF FOREST ECOSYSTEMS OF THE NORTH-WEST OF RUSSIA

O.N. BAKHMET

Key words: *undisturbed forest ecosystems, soil organic matter, carbon cycle, biota*

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОБОЦЕНОЗА ПОЧВ ЛЕСНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМ (НА ПРИМЕРЕ “ГОРНОГО ПАРКА РУСКЕАЛА”)

О.Н. БАХМЕТ[1], М.В. МЕДВЕДЕВА[2]

[1]Отдел комплексных научных исследований Карельского научного центра РАН, г. Петрозаводск
[2] Институт леса Карельского научного центра Российской академии наук, ФИЦ "Карельский научный центр РАН", г. Петрозаводск

Ключевые слова: *микробиоценозы, подземные экосистемы, почвы, рекреационная нагрузка*

Как известно, экологические условия определяют специфику формирования почв, их устойчивость к антропогенному воздействию, восстановление. Почвы подземных экосистем имеют ряд особенностей, отличных от почв, сформировавшихся в наземных условиях. Они формируются в условиях недостаточного поступления солнечной энергии, узкого диапазона низких температур, повышенной влажности, небольшого объема мортмассы, представленной мхами, грибами, немногочисленными растениями, а также микроорганизмами. Состав и функциональная активность последних зависит от природно-климатических условий, в которых формируются пещеры, почвообразующих пород, а также от строения самих подземных пространств. В микробном сообществе преобладают психрофильные группы, олиготрофы, хемолитотрофы. Велика роль отдельных групп микроорганизмов в функционировании биотической компоненты подземного сообщества, репродуктивная стратегия популяций которых направлена на развитие К-стратегов. Функциональная активность микробного сообщества также заторможена, что выражается снижением активности ключевых ферментов цикла N и C. В подземном пространстве формируется иной состав участников превращения органического вещества, поддержания равновесного состояния экосистемы. На фоне низкого содержания органического вещества в почвах подземных экосистем ионообменные и сорбционные свойства минералов могут избирательно воздействовать на адсорбцию не только микроорганизмов, а также представителей всего микромира. Минералы могут выступать в качестве катализаторов/ингибиторов процессов, тем самым прямо или опосредованно регулировать круговорот веществ (Abyzov, 1993; Baker, 1970; Gest, 1987; Friedman, 1982; Seaward et al., 1976; Weber, 1985). Источником поступления микроорганизмов в подземную экосистему могут быть воздух, вода и пыль, поступающие с прилегающих наземных территорий. Поэтому возможно формирование однотипных по структуре микробных сообществ почв контрастных условий обитания. В этой связи целью настоящего исследования было сравнительное изучение микробных сообществ почв лесной и подземной экосистемы.

Исследование проводили в районе “Горного парка Рускеала“, расположенном в среднетаежной подзоне Карелии. В результате маршрутных исследований было установлено формирование почв различного генезиса, ведущими почвообразовательными процессами в которых являются подстилкообразование, торфонакопление, подзолообразование, буроземообразование. Почвенный покров представлен сочетанием супесчаных подзолов и подбуров на повышенных элементах рельефа (под сосняками), буроземами (под еловыми лесами), а также торфяными (в понижениях). В целом благоприятные природно-климатические условия, богатство почвообразующих пород щелочными и щелочноземельными металлами определяют плодородие почв, высокую биологическую активность. Одним из перспективных методов оценки экологического

состояния подземных пространств может быть ориентированность на комплексное исследование в различных частях пещеры микробного сообщества, которое может служить показателем устойчивости экосистемы к антропогенной (рекреационной) нагрузке. Собранная при этом информация позволяет проводить сравнительный анализ состояния экосистемы в зависимости от степени вовлечения различных частей пещеры в туристическую деятельность, наиболее полно изучить особенности пространственно-временной динамики данных показателей. Также необходимо отметить, что комплексное исследование химического состава почвогрунтов и функционирования микробного сообщества дополняет и конкретизирует информацию о функционировании подземного ценоза, о роли масса-переноса в биогеохимических процессах.

Высокая численность микроорганизмов важнейших эколого-трофических групп почв, сформировавшихся в условиях наземных экосистем, становится одним из постоянных источников поступления микроорганизмов в пещеру. Результаты показали очень низкую численность микроорганизмов изучаемых групп в пещере по сравнению с почвой. Это свидетельствует о невысокой степени выветривания минералов в пещере, низкой их микробной трансформации. Можно также отметить, что многочисленный поток туристов является постоянным источником поступления микробов с почв, прилегающих к входу в пещеру. Это хорошо прослеживается при анализе микрофлоры почвогрунтов пещеры: по мере удаления от входа пещеры численность микроорганизмов снижается.

Сравнительный анализ микробиологических показателей показал, что в пещере складываются неблагоприятные условия для развития изучаемых микроорганизмов. Это свидетельствует о том, что данный блок микробиоты подземного пространства является чувствительным к изменениям в окружающей среде, поэтому при флуктуации температурных показателей на фоне глобального потепления климата его можно рекомендовать использовать в качестве биоиндикатора состояния подземной сферы.

Работа выполнена в рамках проекта "BSUIN" (2019-2020 гг).

ЛИТЕРАТУРА

1. Abyzov S.S. Microorganisms in the Antarctic ice // Antarctic microbiology / ed. E.I. Friedmann, N.Y.: Willey-Liss Inc., 1993. P. 265–295.
2. Baker J.H. Yeasts, moulds and bacteria from an acid peat on Signy Island // Antarctic Ecology. 1970. No. 2. P. 717–722.
3. Gest H., Mandelstam J. Longevity of microorganisms in natural environments // Microbiol. Sci. 1987. N 4. P. 69–71.
4. Friedmann E.I. Endolithic microorganisms in the Antarctic cold desert // Science. 1982. V. 215. No. 4536. P. 1045-1053.
5. Seaward M.R.D., Cross T., Unsworth B.A. Viable bacteria spres recovered from an archaelogical excavation // Nature. 1976. V. 261. P. 407–408.
6. Weber R., Greenberg J.M. Can spores survive in interstellar space? // Nature. 1985. V. 316. P. 403–407.

STUDY OF THE MICROBIAL CENOSIS OF SOILS OF FOREST AND UNDERGROUND ECOSYSTEMS (ON THE EXAMPLE OF THE "RUSKEALA MOUNTAIN PARK")

O.N. BAKHMET, M.V. MEDVEDEVA

Key words: *underground ecosystems, soils, recreational load, microbiocenoses*

КРИТИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ ЭВТРОФИРУЮЩИХ И ПОДКИСЛЯЮЩИХ СОЕДИНЕНИЙ АЗОТА ДЛЯ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ РЕСПУБЛИКИ КОМИ В ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА

В.Н. БАШКИН, И.В. ПРИПУТИНА

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

Ключевые слова: *критические нагрузки, лесные почвы, лесные экосистемы, магистральные газопроводы, эмиссия азота*

На примере лесных экосистем Республики Коми традиционный алгоритм расчетов величин критических нагрузок (КН) азота, эмитированного при работе компрессорных станций на магистральном газопроводе «Ямал-Запад», в отношении эвтрофирующих и подкисляющих эффектов использован для проведения вероятностных оценок КН. Для входных параметров уравнений масс-баланса и уравнений, характеризующих интенсивность миграционных потоков элементов в экосистемах, по литературным и картографическим данным определены диапазоны возможных значений, которые включены в расчеты, используя метод Монте-Карло. Общее число модельных «прогонов» для каждой экосистемы составило 1000. Пространственное разрешение (детальность) входной информации и полученных значений КН соответствует пространственному выделу 1х1 км^2. При анализе полученных результатов вероятностных оценок отдельных параметров масс-баланса и величин КН рассмотрены 25%, 50%, 75% и 95%-ный уровни значений, соответствующих каждой «экосистеме». В результате выполненных исследований получен обширный массив пространственно распределенной информации, характеризующий специфику биогеохимического круговорота азота и сопряженных с ним макроэлементов в различных зональных и интразональных типах тундровых и таежных экосистем. Для лесных экосистем были рассмотрены наиболее типичные сценарии рубок (выборочные, постепенные, санитарные). Для травянистых и кустарниково-травянистых экосистем лесной зоны и лесотундры рассмотренный сценарий хозяйственного использования включал «использование» территорий в качестве пастбищ, в том числе, в северных районах для оленеводства. Анализ полученных результатов свидетельствует о высокой дифференциации экосистем рассматриваемой зоны в отношении большинства параметров масс-баланса азота и сопряженных макроэлементов. Так, например, согласно полученным оценкам, вынос азота из лесных экосистем таежной зоны с приростами древесины при разных вариантах рубок изменяется от 0.5-1.5 кг N/га в год (или 35-100 г.-экв/га) в притундровых смешанных лесах до 6-10 кг N/га в год (или 400-700 г.-экв/га) в среднетаежных ельниках. При оценке допустимых уровней выноса азота с почвенно-грунтовыми водами были рассмотрены два сценария, соответствующие предупреждению эффектов дисбаланса азотного питания для растений эдификаторов (древесных видов в лесах и наземных в травянистых биоценозах) и эффектов снижения биоразнообразия напочвенного покрова. В первом случае данные величины могут составлять 70-160 г.-экв/га в год (или 1-2.5 кг N/га), при этом уровень концентраций азота в почвенном растворе соответствует 0.2-0.4 мг N/л в зависимости от вида эдификатора. Эффекты нарушения биоразнообразия, проявляющиеся в смене видов в результате увеличения доли нитрофильной и исчезновения олиготрофной растительности, проявляются в условиях, когда концентрации азота в почвенном растворе превышают 0.2-0.4 мг N/л для лишайников и мхов, 1 мг N/л – для кустарничковых видов, 1-3 мг N/л – для осок и злаков. С учетом высокого уровня атмосферных

осадков и гумидности климата, характерных для исследуемой территории, рассчитанные параметры допустимого вымывания азота с почвенно-грунтовым стоком составили диапазон от 100 до 700 г.-экв/га в год (или от 1.5 до 10 кг N/га) для субарктических и типичных тундр, а для лесных территорий – от 500 до 1000-1200 г.-экв/га в год (или от 10 до 15-18 кг N/га). По потенциалу нейтрализации кислотной составляющей атмосферных осадков вся территория исследования условно может быть разделена на 2 части: северную (тундровую) и южную (лесную). В пределах лесной зоны минимальные значения КН кислотности характерны для заболоченных экосистем. Данная дифференциация обусловлена целым комплексом факторов, связанных с температурными условиями, режимом увлажнения территорий, почвенной текстурой и типами растительности. Согласно рассчитанных значений, допустимый уровень поступления кислотных выпадений для тундровых и заболоченных травянистых экосистем составляет в среднем 100-200 г.-экв/га в год, тогда как в лесных экосистемах диапазон полученных величин изменяется от 300 до 700 г.-экв/га в год. Выявлено, что леса средней тайги имеют пониженный потенциал нейтрализации кислотных выпадений по сравнению с северо-таежными фитоценозами, что может быть объяснено более активным депонированием почвенных катионов в биомассе более продуктивных древостоев подзоны средней тайги. Рассчитанные величины КН в отношении эффектов дисбаланса элементов питания для экосистем в зоне лесотундры составляют 150-350 г.-экв/га в год (или 2-5 кг N/га). Для лесных экосистем уровень допустимого поступления азота с атмосферными выпадениями оценивается в 350-700 г.-экв/га в год (или 5-10 кг N/га). Полученные значения КН, соответствуют или чуть выше имеющихся данных о современном уровне атмосферного поступления соединений азота в данном регионе. В отношении эффектов, связанных с риском нарушения видового разнообразия, для тундровых экосистем получены близкие значения КН, поскольку в расчетах использованы схожие критические концентрации азота в почвенном растворе. Для лесных экосистем величины КН выше и составляют 700-1000 г.-экв/га в год и выше, что соответствует поступлению 10-15 и более кг N/га в год (Башкин, Припутина, 2010).

Полученные результаты оценки величин КН позволяют ранжировать экосистемы в зоне воздействия газопроводов по степени их устойчивости к атмосферным эмиссиям азота (Bashkin, 2017).

Исследование поддержано проектом ООО "Газпром ВНИИГАЗ".

ЛИТЕРАТУРА

1. Башкин В.Н., Припутина И.В. Управление экологическими рисками при эмиссии поллютантов. – М.: Газпром-ВНИИГАЗ, 2010. 189 с.
2. Bashkin V. (Ed). Ecological and biogeochemical cycling in impacted polar ecosystems. NOVA Publishers, 2017. 308 p.

CRITICAL LOADS OF EUTROPHYING AND ACIDIFYING NITROGEN COMPOUNDS FOR FOREST ECOSYSTEMS OF THE KOMI REPUBLIC IN THE ZONE OF IMPACT OF THE MAIN GAS PIPELINE

V.N. BASHKIN, I.V. PRIPUTINA

Key words: *forest soils, forest ecosystems, main gas pipelines, nitrogen emission, critical loads*

ВЛИЯНИЕ ПОСТПИРОГЕННОГО УГЛЯ НА РАЗЛОЖЕНИЕ ОПАДА В БОРЕАЛЬНЫХ ЛЕСАХ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

С.В. БРЯНИН, А.В. КОНДРАТОВА

Институт геологии и природопользования ДВО РАН, г. Благовещенск

Ключевые слова: *Дальний Восток, лиственничные леса, постпирогенный уголь, разложение опада*

Почвы бореальных лесов – самый большой резервуар углерода (C) суши, пополняемый за счет разложения растительного опада (Pimm, 2009). Пожары всегда являлись важным фактором динамики северных лесов (Goldammer, Furyaev, 1996), а наблюдаемый тренд к увеличению пирогенной нагрузки сохранится и в будущем (Seidl et al., 2020). Кроме прямого воздействия на основные пулы C огонь переводит часть надземной биомассы и органического вещества почв в продукты горения (McLauchlan et al., 2020). Среди последних самым долговременным и неоднозначным является постпирогенный уголь (уголь). Большая часть лесопокрытой территории России занята лиственничными массивами, а в силу континентальных климатических условий, они чаще других в бореальной зоне испытывают влияние пожаров (Sato et al., 2016). Высокая пожарная нагрузка вместе с крайне низкими темпами распада угля привела к тому, что его запасы в лесных подстилках и почвах северных лесов измеряются мегатоннами и продолжают увеличивается (Preston, Schmidt, 2006). Таким образом, уголь накапливается и сохраняется в среде, где происходит разложение растительного опада – основной поток C между надземным и подземным пулами, и вопрос влияния угля на этот процесс до сих пор остается дискуссионным.

К настоящему времени накоплен большой объём знаний о влиянии угля на свойства почв. Так уголь изменяет физические, химические свойства почв, в том числе содержание доступных элементов питания. Результаты этих исследований разнообразны, но все они приходят к выводу о существенной роли угля в регулировании почвенных свойств (Makoto, Koike, 2021). Несмотря на то, что изучению угля уделяется большое внимание, мы очень мало знаем о его роли в процессах биодеструкции, и динамке органического вещества в почвах лесных экосистем. Накопленные к настоящему моменту немногочисленные сведения можно разделить на две большие группы с противоположными выводами. По мнению американской научной школы, уголь является долговременным, малодинамичным пулом C (Lehmann, 2007), и своего рода компенсацией газообразных выбросов C при пожарах и от прочих антропогенных источников (Matovic, 2011). Группа скандинавских ученых на основе десятилетнего полевого эксперимента в хвойных бореальных лесах показала потери гумуса лесных почв под влиянием угля (Wardle et al., 2008). Несмотря на большой международный интерес к данной теме большинство работ продолжает характеризовать динамику органического вещества почв и рост растений в присутствии угля. Исследования в основном проводятся в рамках краткосрочных лабораторных экспериментов, которые приводят к весьма противоречивым выводам. Полевые исследования разложения опада в присутствии угля единичны (Minamino et al., 2019). Так, например, недавние исследования в почвах таежных лесов Дальнего Востока России показали, что уголь ускоряет подземное разложение опада тонких корней лиственницы в первые 2-3 года после пожара (Bryanin et al., 2018). При этом работы, описывающие процессы надземного разложения растительного опада в присутствии угля в бореальных лесах не проводились.

В природных условиях монодоминантные хвойные леса являются признаком ненарушенности и в условиях растущей пирогенной нагрузки на смену им все чаще

приходят смешанные, с разной долей вторичных пород. В таких лесах разложение протекает в смеси из разного опада. Компоненты смеси разлагаются с разной скоростью в зависимости от их качества, и каждый вид опада выполняет важную экосистемную функцию. Смешивание разного опада в естественных условиях может иметь разнообразный эффект от ускорения до замедления разложения (Wardle et al., 1997). Поэтому особый интерес представляет возможное влияние угля на эффект смешивания различных видов опада.

Таким образом, целью нашего исследования являлось установить, влияет ли уголь на разложение надземного опада разного качества в условиях полевого эксперимента в естественном лиственничном лесу. Если эффект угля обнаруживается, то различается ли он между холодным и теплым периодами года? И третье, изменяет ли уголь эффект смешивания различных видов опада?

Исследования проведены в Зейском государственном природном заповеднике, который занимает восточную часть хребта Тукурингра на Дальнем Востоке России (53°50′ с. ш., 127°10′ в. д.). Для исследований выбрана пологая нижняя часть южного макросклона, покрытая естественным лиственничником бруснично-разнотравным с участием березы и осины (*Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr, *Betula platyphylla*, *Populus* sp.). Исследуемая территория располагается в зоне прерывистой многолетней мерзлоты со среднегодовой температурой −0.7 °C. Минимальная среднемесячная температура воздуха приходится на январь (−19.3°C), максимальная – на июль (+19.1°C). Среднегодовое количество осадков составляет 526.8 мм, из которых 77% выпадает в виде дождя с июля по сентябрь. Почвы исследуемой территории представлены буроземами грубогумусовыми (Cambisols).

В выбранном лесном массиве заложена постоянная исследовательская площадка квадратной формы площадью 400 м^2. В ее пределах на расстоянии не менее 20 м друг от друга заложены 7 площадок размером 5×5 метров для проведения данного исследования.

Для изучения влияния угля на разложение органического вещества был проведен полевой "litterbag" эксперимент, в котором использованы основные виды опада, характерные для лиственничных лесов, и древесный уголь из древесины лиственницы. К видам опада, изученным в данной работе, относятся: листья березы плосколистной *Betula platyphylla* Sukacz. – "листья", хвоя лиственницы Гмелина *Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr. – "хвоя", надземная часть трав (майник средний *Maianthemum intermedium* Worosch., вейник *Calamagrostis* sp. и осока шаровидная *Carex globularis* L.) – "травы". Кроме изучения отдельных видов опада в обоих вариантах эксперимента было изучено разложение смеси этих видов в равных пропорциях – "смесь". Опад древесных растений собран с использованием опадоуловителей по методике Н.И. Базилевич (Abiven, 2011). Сбор травянистой растительности осуществляли методом укосов с площадок размером 1×1 м^2. Уголь изготавливали из древесины лиственницы в лабораторных условиях при температуре 450°C в бескислородной среде в течение 5 часов. Готовый уголь измельчали и пропускали через набор сит для получения однородной фракции 1-2 мм.

Эксперимент имел 2 варианта: контрольный и с добавлением угля. В варианте с углем в мешочек помещалось 4 г постпирогенного угля равномерным слоем, покрывающим всю площадь дна, сверху равномерным слоем располагали 4 г определенного вида опада или смеси. В контрольном варианте эксперимента 4 г опада располагали равномерно по дну мешочка. Для максимального сохранения естественного состояния опада в мешочки закладывали воздушно-сухую хвою. Для каждого варианта эксперимента 4 вида опада размещались на 7 площадках в пространстве. Мешочки раскладывали на поверхности лесной подстилки с интервалом 10 см, слегка прикрывая свежим опадом, для лучшей фиксации на поверхности. Всего было заложено 92 мешочка: 46 с углем и 46 контрольных. В дату отбора вынимали по 6 мешочков каждого вида опада по одному с площадки.

Эксперимент начат 4 октября 2019 года с установлением нулевых среднесуточных температур, в конце естественного периода листопада и активного опадания хвои лиственницы. Первый контрольный отбор осуществлялся 8 мая 2020 года на 218 день от начала эксперимента после схода снега и установления положительных температур. Второй отбор произведен через 365 дней после начала эксперимента 3 октября 2020 года. Такой подход позволил нам рассматривать влияние угля на разложение отдельных видов опада, а также их смесей в контексте холодного и теплого периодов года. После извлечения мешочек вскрывали и производили разделение опада и угля, так же отделяли мезофауну и инородные включения. После разделения полученные компоненты высушивали при температуре 40°C до постоянного веса и определяли остаток массы в % относительно исходной массы опада в мешочке. Константу разложения (k) рассчитывали отдельно для холодного (0-218 дней) и теплого периодов (218-365 дней) с помощью отрицательной экспоненциальной модели потери массы, описанной Олсоном (Olson, 1963).

Лабораторные исследования выполнены в аналитическом центре минералого-геохимических исследований Института геологии и природопользования ДВО РАН. Статистическую обработку и визуализацию данных проводили в программной среде R-studio. На первом этапе все данные проверялись на нормальность и однородность дисперсий. Проверку гипотез на статистическую достоверность различий и значимость рассчитанных статистик осуществляли при 5%-м уровне значимости с применением методов многофакторного дисперсионного анализа ANOVA с последующим апостериорным тестом Тьюки (Tukey HSD). Корреляцию между величинами рассчитывали методом Пирсона.

Начальный (холодный) период разложения длился 218 дней с октября по май, а температура лесной подстилки была отрицательной большую часть этого периода (160 дней). Средняя температура лесной подстилки в холодный период составила -2.3°C, минимальная -5.1°C, а сумма отрицательных температур в среднем составила -368°C. Второй (теплый) период длился 147 дней с мая по октябрь и совпадал с вегетационным. Средняя температура теплого периода составила +10.6°C, минимальная 0°C, максимальная +21.7°C, сумма температур за период составила +1807°C. В теплый период варьирование среднесуточных температур было выше по сравнению с холодным.

Потеря массы на 218 день эксперимента составила от 7 до 18% относительно исходной и зависела как от качества опада, так и от добавления угля. Максимальная потеря массы в контрольном варианте отмечена для трав, минимальная – для хвои. Итоговая потеря массы на 365 день эксперимента была максимальной для трав (32%), а минимальной для хвои (19%). На 218 день в варианте с углем наблюдалась большая по сравнению с контролем потеря массы хвои ($p < 0.001$). На 365 день достоверные различия между вариантами эксперимента для хвои сохранились. Добавление угля не повлияло на потерю массы трав, а на листья оказало слабое положительное влияние лишь на 365 день эксперимента.

Смешивание опада в контрольном варианте имело аддитивный эффект, то есть расчетные значения потери массы не отличались от фактических. При этом смешивание в варианте с добавлением угля имело синергетический эффект, значимо ($p < 0.001$) ускоряя разложение в холодный период, однако в последующий теплый период такого эффекта не наблюдалось.

Нашими исследованиями установлено, что уголь ускоряет разложение трудноразлагаемых фракций (хвоя). Отрицательного влияния угля на потерю массы не обнаружено ни в одном из вариантов эксперимента в оба изучаемых периода, равно как и не обнаружено влияния угля на разложение легкоразлагаемых фракций: листьев и трав. Один из механизмов ускорения разложения хвои и смеси может заключаться в адсорбционной способности угля

в отношении фенолов, выделяемых свежим опадом (Wardle et al., 1998). Фенольные соединения, выделяемые свежим опадом, подавляют азотную минерализацию и нитрификацию лесной подстилки, в конечном итоге замедляя разложение. При этом содержание фенолов в опаде лиственницы выше по сравнению с листьями березы и опадом трав (Preston et al., 2002). Однако видоспецифическое влияние угля на разложение может зависеть и от условий среды. Так, лабораторный эксперимент с контролируемыми условиями среды (температура и влажность), опадом разного качества (древесина, кора, листья, хвоя) и почвой из умеренных лесов Европы, не установил влияния угля на микробное разложение (Abiven, 2011). Наши полевые исследования показывают, что, вероятно, механизм влияния угля не ограничивается регулированием биологической активности субстратов, а может быть связан с природными процессами, такими как циклы замораживания-оттаивания в переувлажненном состоянии, длительное промерзание, промывание талыми водами. Эти процессы происходят в почвах бореальных лесов при смене сезонов и не учитываются в большинстве современных исследований.

Сезонные изменения процесса разложения в основном связаны с колебаниями двух основных предикторов разложения – температуры и влажности. В нашем исследовании в мешочках с углём влажность опада не отличалась от контрольных ($p > 0.1$) ни в один из периодов, при сохранении тесной взаимосвязи этих параметров с потерей массы. Этот результат противоречит недавнему полевому эксперименту в умеренном лесу Японии, который установил значимое увеличение влажности листьев дуба в мешочках с углем (Minamino et al., 2019). Этим же исследованием показано, что уголь ускоряет разложение опада при значениях влажности ниже 50%. В нашем эксперименте отбор образцов и определение влажности произведены в конце холодного периода после таяния снега. В условиях смены сезонов характеристики среды меняются очень динамично и в отдельные короткие периоды могут складываться температурно-влажностные условия, оптимальные для функционирования угля.

Наше исследование впервые в бореальной зоне в условиях in situ показало видоспецифическое влияние угля на потерю массы и скорость разложения опада. Кроме того, уголь изменяет ход процесса разложения в смеси опада.

Почвы бореальных лесов удерживают самый значительный пул углерода, чувствительный к пожарам и изменению климата. Наши исследования показали, что динамика этого пула, в части разложения ежегодно поступающего опада, может существенно регулироваться постпирогенным углем. Учитывая высокую периодичность пожаров в лиственничных лесах и их большой ареал, масштабы такого эффекта могут быть весьма существенными как для цикла углерода, так и гумусообразования в почвах лиственничных экосистем.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-05-00305 "Постпирогенный уголь как часть цикла почвенного углерода в бореальных лесах"

ЛИТЕРАТУРА

1. Abiven S., Andreoli R. Charcoal does not change the decomposition rate of mixed litters in a mineral cambisol: A controlled conditions study // Biology and Fertility of Soils. 2011. No. 1 (47). P. 111–114.https://doi.org/10.1007/s00374-010-0489-1.
2. Bryanin S., Abramova E., Makoto K. Fire-derived charcoal might promote fine root decomposition in boreal forests // Soil Biology and Biochemistry. 2018. V.116. P. 1–3.
3. Goldammer J.G., Furyaev V.V. Fire in Ecosystems of Boreal Eurasia: Ecological Impacts and Links to the Global System. 1996. V. 48. P. 1–20.
4. Lehmann J.A handful of carbon // Nature. 2007. No. 7141 (447). P. 143–144.

5. Makoto K., Koike T. Charcoal ecology: Its function as a hub for plant succession and soil nutrient cycling in boreal forests // Ecological Research. 2021. No. 1 (36). P. 4–12.
6. Matovic D. Biochar as a viable carbon sequestration option: Global and Canadian perspective // Energy. 2011. No. 4 (36). P. 2011–2016.
7. McLauchlan K.K., Higuera P.E., Miesel J., Rogers B.M., Schweitzer J., Shuman J.K., ... & Watts A.C. Fire as a fundamental ecological process: Research advances and frontiers // Journal of Ecology. 2020. No. 5 (108). P. 2047–2069.
8. Minamino Y., Fujitake N., Suzuki T., Yoshitake S., Koizumi H., Tomotsune M. Effect of biochar addition on leaf-litter decomposition at soil surface during three years in a warm-temperate secondary deciduous forest, Japan // Scientific Reports. 2019. No. 1 (9). P. 16961.
9. Olson J.S. Energy Storage and the Balance of Producers and Decomposers in Ecological Systems // Ecology. 1963. No. 2 (44). P. 322–331.
10. Pimm S., Roulet N., Weaver A. Boreal forests' carbon stores need better management // Nature. 2009. No. 7271 (462). P. 276–276.
11. Preston C.M., Schmidt M.W.I. Black (pyrogenic) carbon: a synthesis of current knowledge and uncertainties with special consideration of boreal regions // Biogeosciences. 2006. No. 4 (3). P. 397–420.
12. Preston C.M., Trofymow J.A. (Tony), Working Group the C.I.D.E. Variability in litter quality and its relationship to litter decay in Canadian forests // Canadian Journal of Botany. 2000. No. 10 (78). P. 1269–1287.
13. Sato H., Kobayashi H., Iwahana G., Ohta T. Endurance of larch forest ecosystems in eastern Siberia under warming trends // Ecology and Evolution. 2016. No. 16 (6). P. 5690–5704.
14. Seidl R., Honkaniemi J., Aakala T., Aleinikov A., Angelstam P., Bouchard M., ... & Senf C. Globally consistent climate sensitivity of natural disturbances across boreal and temperate forest ecosystems // Ecography. 2020. V. 43(7). P. 967–978.
15. Wardle D.A., Bonner K.I., Nicholson K.S. Biodiversity and Plant Litter: Experimental Evidence Which Does Not Support the View That Enhanced Species Richness Improves Ecosystem Function // Oikos. 1997. No. 2 (79). P. 247–258.
16. Wardle D.A., Zackrisson O., Nilsson M.-C. The charcoal effect in Boreal forests: mechanisms and ecological consequences // Oecologia. 1998. No. 3 (115). P. 419–426.
17. Wardle D.A., Nilsson M.-C., Zackrisson O. Fire-Derived Charcoal Causes Loss of Forest Humus // Science. 2008. No. 5876 (320). P. 629–629.

EFFECT OF FIRE-DERIVED CHARCOAL ON LITTER DECOMPOSITION IN BOREAL FORESTS ON THE RUSSIAN FAR EAST

S.V. BRYANIN, A.V. KONDRATOVA

Key words: *litter decomposition, fire-derived charcoal, winter decomposition, Cambisols*

К ИЗУЧЕНИЮ ВИДОВОГО РАЗНООБРАЗИЯ РАКОВИННЫХ АМЕБ (RHIZOPODA, TESTACEA) СОСНОВЫХ БИОГЕОЦЕНОЗОВ КАРЕЛИИ

Е.В. ВАЛДАЕВА, С.Н. ЛЯБЗИНА

Петрозаводский государственный университет, г. Петрозаводск

Ключевые слова: *Testacea, видовое разнообразие, морфология, почвы, раковинные амебы*

В лесных биогеоценозах раковинные амебы имеют широкое распространение и являются постоянным компонентом почвенной микрофауны. Участвуя в процессе почвообразования, эти простейшие выполняют функцию деструкции целлюлозы и лигнина, а также способны накапливать минеральные компоненты в верхних горизонтах почвы (Булатова, 2010). В лесах количество и разнообразие видов раковинных амеб зависит от структуры древостоя. Наиболее заселена простейшими ризосфера, где происходит контакт живых организмов с корневой системой и органами растения, находящимися в почве. Например, вблизи корней тополя в светло-серых лесных почвах было выявлено 11 видов тестацей, среди которых представители *Cyclopyxis*, *Centropyxis* и *Nebela*. Отмечено, что число доминантных видов *Nebela collaris* и *Phryganella acropodia* уменьшалось с увеличением расстояния от шейки корня дерева, максимальная численность данных видов наблюдалось на расстоянии 20-40 см от переходящих корней в ствол (Кулюкина и др., 2018).

В сосновых лесах отмечено высокое разнообразие раковинных амёб, среди которых преобладают эврибионтные виды родов *Cyclopyxis* и *Trinema*. Видовое разнообразие простейших обусловлено большой гетерогенностью растительного покрова, который представлен как участками с хвойной подстилкой, так и травяно-кустарничковым и мохово-лишайниковым ярусами. Также выявлено, что тестацеи родов *Phryganella* и *Cyclopyxis* чаще встречаются в мохово-лишайниковом покрове сосняков, а некоторые виды *Centropyxis* в почвенно-лишайниковых участках (Булатова, 2010; Блинохватова, 2011).

На территории Карелии известно несколько работ по исследованию разнообразия раковинных амеб, которые проводились в сильно заболоченных местах елово-сосновых и осоково-сфагновых лесов (Мазей, 2008; Малышева, 2013).

Исследования проводили на территориях Ботанического сада ПетрГУ и заповедника Кивач в сосновых биогеоценозах в период с 2019 по 2020 год. Пробы почв отбирались ежегодно с июня по октябрь в сосняке кисличном Ботанического сада (61°84′ с.ш. 34°38′ в.д.) и с июня по сентябрь в сосняке брусничном заповедника Кивач (62°29′ с.ш. 33°91′ в.д.) на четырех участках: по две пробы из каждого изучаемого биотопа. Все пробы почв изымали из гумусового горизонта, что позволило исследовать сообщества раковинных амеб, обитающих на глубине до 10–20 см. Для выявления сезонной динамики образцы почвенных проб с одного участка собирали ежемесячно в течение двухлетнего периода. Из почвенной пробы раковинных амеб выделяли, применяя рекомендации А.А. Рахлеевой, Г.А. Коргановой (2005).

В исследуемых сосновых биогеоценозах обнаружено 28 видов раковинных амеб, относящихся к 14 родам. Наиболее массовые виды, встреченные в почвах изучаемых биотопов: *T. lineare*, *T. complanatum*, *N. militaris*, *C. eurystoma*, а также виды рода *Euglypha*. В сосняке брусничном заповедника Кивач отмечено наибольшее разнообразие тестацей. Преобладают в данном биогеоценозе *T. lineare*, *C. dubium*, *N. militaris*, *E. strigosa glabra*, *E. rotunda* и *C. orbicularis*. Вид *T. lineare* характеризуется мелкой удлиненно-яйцевидной раковинкой. Он хорошо различим и по округлому устью диаметром до 10 мкм. Его раковинки небольших размеров, длиной 16–35 мкм, шириной 7–17 мкм. *C. dubium*,

встречающийся почти в каждой пробе почв сосняка брусничного, имеет раковинку яйцевидной формы, состоящую из овальных пластин, очень мелких и обычно накладывающихся друг на друга. Размеры тела средние: длина 33–43 мкм; ширина 25 мкм. Данный биотоп характеризуется иллювиально-железистыми песчаными подзолами. Такие почвы в минеральных горизонтах содержат наибольшее количество гумуса, величина которого уменьшается с глубиной, что обеспечивает большую плотность заселения простейшими организмами именно в верхних слоях почвы. Водородный показатель указывает на сильнокислую реакцию подзолов, особенно в верхних горизонтах (Федорец и др., 2006).

Для почв сосняка кисличного Ботанического сада, который заложен на южных склонах реликтового вулкана, характерны грубогумусовые супесчаные бурозёмы. Отличительной чертой данной территории является наличие гумус-продуктивного горизонта, где происходит гумификация органических веществ. Почвы имеют такую же сильнокислую реакцию среды и высокую гидролитическую кислотность, особенно в подстилке (Красильников, Платонова, 2001). *T. lineare* и *N. militaris* также часто встречались в пробах данного биотопа, как и в лесу заповедника Кивач. Помимо этого, доминирующими представителями, обнаруженными в сосняке Ботанического сада, стали *N. tincta* и *C. eurystoma*.

Раковинка *N. tincta* относительно крупная, грушевидная или яйцевидная, уплощенная. Цветовая гамма различна: от светло-желтого до бесцветного. Длина раковинки составляет 75–95 мкм, ширина 55–64 мкм, а ширина устья около 30 мкм. *C. eurystoma* имеет раковину средних размеров, в профиль полусферической формы, диаметром 30–80 мкм и высотой 30–50 мкм. Устье *C. eurystoma* округлое, диаметром 22–34 мкм. Покрывающие минеральные частицы крупные и хорошо заметны.

Общее число обнаруженных особей в ценозе Ботанического сада равно 788, в заповеднике Кивач – 4006. Установлено, что из 9 видов, встреченных в сосняке кисличном Ботанического сада, лишь 1 не обнаружился в почвах сосняка брусничного. Сравнение гладких форм и форм с шипами из рода *Euglypha* показывает, что первые встречаются чаще в более сухих местообитаниях (Мазей, 2006). Вид *E. strigosa* присутствует в пробах почв сосняка кисличного и отсутствует в образцах сосняка брусничного, что может указывать на то, что в первом биотопе условия среды более влажные, чем во втором. Об этом говорят и сведения о наличии ксерофильных представителей в лесу заповедника Кивач, таких как *A. muscorum*, *C. dubium* и *C. orbicularis*, которые предпочитают более сухие условия.

Важно отметить, что количество видов простейших и их разнообразие в сосняке Ботанического сада намного меньше, чем в биотопе заповедника Кивач. Это может быть связано с расположением первого природного комплекса на склоне в горной местности, где плодородный слой почв невелик по сравнению со вторым ценозом. Возможно, на состав раковинных амеб в почвах также влияет и антропогенная нагрузка, которая выше в сосняке кисличном Ботанического сада.

ЛИТЕРАТУРА

1. Блинохватова Ю.В. Структура сообществ почвообитающих раковинных амеб в сосновых лесах в разных пространственных масштабах исследования // Известия ПГПУ им. В. Г. Белинского. Естественные науки. 2011. № 25. С. 312–316.
2. Булатова У.А. Фауна и экология раковинных амёб (Rhizopoda, Testacea) сосновых лесов Томской и Кемеровской областей // Вестник Томского государственного университета. Биология. № 2 (10). 2010. С. 58–67.
3. Красильников П.В. Почвы заповедной территории Ботанического сада ПетрГУ / П.В. Красильников, Е.А. Платонова // Hortus Bot. 2001. № 1. С. 34–41.

4. Кулюкина Е.В. Карташев А.Г., Денисова Т.В Пространственное распределение раковинных амеб в подкроновой зоне березы и тополя // Вестник СурГУ. 2018. Вып. 4 (22). С. 22–32.
5. Мазей Ю.А. Пресноводные раковинные амебы/ Ю. А. Мазей, А. Н. Цыганов. Москва: Товарищество научных изданий КМК, 2006. 300 с.
6. Мазей Ю.А., Кабанов А.Н. Раковинные амебы в осоковосфагновом заболоченном лесу на севере Карелии // Известия Пензенского государственного педагогического университета им. В.Г. Белинского. 2008. № 14. С. 101–104.
7. Малышева Е.А., Мазей Ю.А. Структура сообщества раковинных амеб в контактной зоне "лес – сфагновое болото" на севере Карелии // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2013. Т. 2. № 9 (13). С. 35–41.
8. Рахлеева А.А., Корганова Г.А. К вопросу об оценке численности и видового разнообразия раковинных амеб (Rhizopoda, Testacea) в таежных почвах // Зоологический журнал. 2005. Т. 84. № 12. С. 1427–1436.
9. Федорец Н.Г., Морозова Р.М. Почвы и почвенный покров заповедника "Кивач"// Природа государственного заповедника "Кивач". Труды КарНЦ РАН. Выпуск 10. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2006. С. 131–152.

THE STUDY OF THE SPECIES VARIETY OF TESTATE AMOEBAE (RHIZOPODA, TESTACEA) IN KARELIA PINE BIOGEOCENOSES

E.V. VALDAEVA, S.N. LYABZINA

Key words: *testate amoebae, Testacea, species variety, soils, morphology*

СТРУКТУРА РАЗНООБРАЗИЯ КОЛЛЕМБОЛ В ПОЧВАХ ЛЕСОВ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

Н.В. ВАСЕНКОВА[1], А.К. САРАЕВА[2], Н.А. КУЗНЕЦОВА[1]

[1]Московский педагогический государственный университет (МПГУ), г. Москва
[2]Институт леса Карельского научного центра Российской академии наук, ФИЦ "Карельский научный центр РАН", г. Петрозаводск

Ключевые слова: *аддитивное парционирование, бета-разнообразие, видовое богатство, коллемболы, лесная подстилка, структура разнообразия, формации леса*

Таежные и смешанные леса формируют достаточно толстый слой подстилки, который является основным микроместообитанием почвенной мезофауны (животные размером 1-5 мм) в биотопе. Эти животные участвуют в деструкции растительных остатков, поедая в основном мицелий различных грибов. Объект наших исследований – одна из групп мезофауны: мелкие, но многочисленные и разнообразные членистоногие класса Collembola. Влажность подстилки и ее толщина – наиболее значимые факторы для этой группы в лесах. В задачи работы входило оценить структуру разнообразия коллембол, а также выяснить, какие факторы среды в большей мере влияют на видовой состав коллембол: влажность местообитания или свойства подстилки.

Исследование проводили в зоне хвойно-широколиственных лесов европейской части России. На территории Приокско-Террасного заповедника (ПТЗ) изучали ординированные по влажности сосновые леса: лишайниковый, зеленомошный, сфагновый. В Московском регионе (Валуевский лесопарк и Национальный парк Лосиный Остров) и в Смоленском Поозерье изучали мезофитные варианты различных формаций лесов: хвойные (ельники зеленомошно-черничные), смешанные (елово-липовые волосистоосоковые) и широколиственные (липняки волосистоосоковые). Разнообразие коллембол обоих градиентов анализировали с помощью мультимасштабного подхода, сравнивая регионы, районы в регионе, местообитания, ординированные по влажности или типам подстилки (хвойная, смешанная и широколиственная), а также гетерогенность распределения видов в местообитании. В каждом типе леса была взята серия из 81 пробы. Пробы объединяли в 3 группы по 27 проб каждая, на участках 1 кв. м, которые находились на расстоянии 10 м друг от друга. Интенсивный способ учета позволяет довольно полно выявлять фауну и корректно сравнивать выборки из разных точек. Всего было взято 6 серий (ПТЗ), 468 проб (ПТЗ), получено 7542 (ПТЗ) экземпляров. В Московском и Смоленском регионах взято 12 серий, 972 пробы, получено 9072 экземпляров коллембол. Общее число видов – 81.

Относительный вклад компонентов бета-разнообразия, т.е. различия видовых списков, на уровнях регионов, районов, типов леса и гетерогенности подстилки в местообитаниях оценивали с помощью аддитивного парционирования (Crist et al., 2003). Кроме того, выясняли на основе индекса сходства/несходства Жаккара с чем связано несходство списков – с различием в видовом богатстве сравниваемых территорий или с замещением видов (Legendre, 2014).

Альфа-разнообразие. На 1 кв. м лесной подстилки по данным обоих градиентов сосуществует в среднем 16-17 видов коллембол. Наибольшее число видов обнаруживается во влажных лесах – в среднем – 22 (ПТЗ), среди формаций – в хвойных лесах Московского региона (20), а также в широколиственных лесах Смоленского региона (22). Относительный вклад альфа-разнообразия в выборке из различных формаций лесов – 31%. Это означает, что в среднем почти треть всех видов коллембол, обнаруженных в хвойных, смешанных и

широколиственных лесах, можно обнаружить на 1 кв. м лесной подстилки. Сходная оценка получена и для сосновых лесов (Kuznetsova, Saraeva, 2019).

Различия метровых участков одного местообитания были невелики, особенно в хвойных лесах.

Различия местообитаний. Относительное несходство видового состава коллембол в различающихся по режиму влажности сосновых лесах Приокско-Террасного заповедника было 30%. Для разных формаций лесов в Московском и Смоленском регионах эта величина была в среднем равна 34%. Несходство состава коллембол местообитаний обоих градиентов было примерно поровну связано с различием в видовом богатстве и замещением видов.

Различия районов одного региона. Видовой состав коллембол изученных лесопарков внутри Московского региона и различных территорий в пределах Смоленского Поозерья различались на 28 и 13%, соответственно.

Различия регионов. Относительное несходство видового состава коллембол в аналогичных лесах Московского и Смоленского регионов относительно невелико – 17%. Несходство регионов связано с замещением видов в большей мере, чем с различиями в видовом богатстве.

В целом, структура разнообразия коллембол различных типов леса, ординированных как по влажности, так и формациям, сходна. Во-первых, вклад альфа-разнообразия (в данном случае, среднего числа видов на 1 кв. м) примерно одинаков: около трети всего числа видов соответствующих выборок. Во-вторых, «обновление» по годам и сезонам видового состава коллембол сходно, составляя около четверти списка. В-третьих, сопоставим вклад местообитания в разнообразие коллембол обоих градиентов. Таким образом, факторы влажности и типа лесной подстилки вносят сходный вклад в диверсификацию разнообразия коллембол бореонеморальных лесов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Crist T.O., Veech J.A., Gering J.C., Summerville K.S., 2003. Partitioning Species Diversity across Landscapes and Regions: A Hierarchical Analysis of α, β and δ Diversity // The American Naturalist. V. 162. No. 6. P. 734–743.
2. Kuznetsova N.A., Saraeva A.K., 2018. Beta-diversity partitioning approach in soil zoology: A case of Collembola in pine forests // Geoderma. V. 332. P. 142–152.
3. Legendre P., 2014. Interpreting the replacement and richness difference components of beta diversity // Global Ecology and Biogeography. No. 23. P. 1324–1334.

DIVERSITY STRUCTURE OF COLLEMBOLA IN FOREST SOILS OF THE EUROPEAN PART OF RUSSIA

N.V. VASENKOVA, A.K. SARAEVA, N.A. KUZNETSOVA

Key words: *diversity structure, forest floor, forest formations, collembola, additive partitioning, beta diversity, species richness*

ВЛИЯНИЕ РУБОК ЛЕСА НА ФЕРМЕНТАТИВНУЮ АКТИВНОСТЬ КОРИЧНЕВЫХ ПОЧВ

В.В. ВИЛКОВА

Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону

Ключевые слова: *антропогенное воздействие, коричневые почвы, рубки леса, ферментативная активность*

Вырубка лесов – прямой результат деятельности человека, который приводит к значительным изменениям природных экосистем и является причиной деградации почвенного покрова. Антропогенно нарушенные ландшафты мест вырубок значительно отличаются от фоновых территорий лесов. Несомненно, ущерб, наносимый природным экосистемам, огромен, не только в региональном масштабе, но и в глобальном.

В 70-х годах прошлого столетия на территории полуострова Абрау, сейчас государственного природного заповедника «Утриш», вследствие сплошной вырубки леса произошло значительное нарушение естественных экосистем. Флора полуострова Абрау характеризуется наличием большого количества средиземноморских элементов, поэтому данную территорию относят к Крымско-Новороссийской провинции Средиземноморской флористической области. Можжевеловые редколесья встречаются на Черноморском побережье и формируют оригинальные растительные сообщества средиземноморского типа, фактически сохранившиеся только здесь, а также на небольших площадях в Восточном Крыму (Атлас, 2013; Иваненко, 2018). Также здесь распространены редкие для России коричневые почвы, которые занимают лишь небольшие площади в субтропиках юга (Казеев и др., 2015). Почвенный покров заповедника изучается уже в течение многих лет, так в результате исследований 2012-2015 гг. было выявлено наличие всех подтипов коричневых и дерново-карбонатных, луговато-коричневых и луговой глеевой почв (Казеев и др., 2002, 2014, 2015, 2017). Но до сих пор уникальные почвы Черноморского побережья России изучены фрагментарно, в том числе и антропогенно нарушенные участки (Беседина, 2004; Халикова и др., 2019; Kazeev et al., 2019)

Для изучения ферментативной активности коричневых почв заповедника «Утриш», пострадавших в ходе сплошной вырубки леса, были реализованы полевые исследования и взяты почвенные образцы с двух участков. Участок №1 (поляна) над озером Сухой Лиман представляет собой мониторинговую площадку вырубки, поляну с травянистой растительностью высотой 0,5 м и кустарниками ежевики и шиповника. Участок №2 является мониторинговой площадкой зарастающей вырубки с густым подростом ясеня высотой до 5 м.

В ходе исследования были изучены биохимические показатели (активность пероксидазы, инвертазы, каталазы) нарушенных почв, а также содержание органического вещества по общепринятым в биологии и почвоведении методам (Казеев и др., 2003).

Для участков вырубки леса уровень нарушения почвенного покрова явно прослеживается на примере каталазы, активность которой существенно увеличивалась по степени восстановления после сведения леса. В контрольном образце уровень активности данного фермента более чем в 2 раза превышает участок №1 (поляна). Между показателями активности инвертазы для участка №2 (зарастающая вырубка) и контроля не было выявлено существенных различий, в то время как на участке №1, в сравнении с контрольным, данный показатель был примерно на 30% ниже. Для исследуемых участков варьирование активности пероксидазы оказалось незначительным. Также стоит отметить, что содержание

органического вещества в почвенных образцах с поляны и зарастающей вырубки снижено по сравнению с контрольным участком на 50%.

Таким образом, полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что нарушенные вырубками территории подверглись негативному воздействию вследствие сведения леса. Даже спустя многие годы процессы восстановления почв данной территории до конца не завершены.

Работа выполнена при государственной поддержке ведущей научной школы Российской Федерации (НШ-2511.2020.11).

ЛИТЕРАТУРА

1. Атлас. Государственный природный заповедник «Утриш». Научные труды. Т. 2. Анапа, 2013. 88 с.
2. Беседина Т.Д. Агрогенная трансформация почв Черноморского побережья Северо-Западного Кавказа при использовании под субтропические культуры: дис. д-ра с.-х. наук. Сочи, 2004. 313 с.
3. Иваненко Ф.К. Создание заповедника «Утриш» и его роль в сохранении биоразнообразия полуострова Абрау // Сборник научных трудов государственного Никитского ботанического сада. 2018. № 147. С. 35–38.
4. Казеев К.Ш., Быхалова О.Н., Полторацкая Т.А., Якимова А.С., Черникова М.П., Колесников С.И. Почвенный покров урочища Водопадная щель заповедника «Утриш» / Наземные и прилегающие морские экосистемы полуострова Абрау: структура, биоразнообразие и охрана. Научные труды. Том 4. 2017. Москва. 2017. 252 с.
5. Казеев К.Ш., Козин В.К., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Биологические особенности почв влажных субтропиков // Почвоведение. 2002. № 12. С. 1474-1478.
6. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований. Ростов н/Д: Изд-во РГУ, 2003. 204 с.
7. Казеев К.Ш., Колесников С.И. Атлас почв Азово-Черноморского бассейна. М.: Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2015. 80 с.
8. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Быхалова О.Н, Дмитриев П.А., Янкина К.О. Почвы и почвенный покров заповедника «Утриш» / Охрана биоты в государственном природном заповеднике «Утриш». Научные труды. Т.3. 2014 Майкоп: Полиграф-ЮГ. 2015. С. 17–44.
9. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Быхалова О.Н., Черникова М.П., Янкина К.О. Эколого-биологические особенности почв ГПЗ «УТРИШ» / Сборник трудов Академии биологии и биотехнологии. Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2014. С. 71–77.
10. Халикова О.В., Исяньюлова Р.Р. Влияние рекреации на состояние почвенного покрова Черноморского побережья России // Лесной вестник. 2019. Т. 23. № 6. С. 51–59.
11. Kazeev K.Sh., Poltoratskaya T.A., Yakimova A.S., Odobashyan M.Yu., Shkhapatsev A.K., Kolesnikov S.I. Post-fire changes in the biological properties Of the brown soils in the Utrish state nature reserve (Russia) // Nature Conservation Research. Заповедная наука 2019. V.4 (Suppl.1). P. 93–104.

INFLUENCE OF FOREST FELLING ON ENZYME ACTIVITY OF BROWN SOILS

V.V. VILKOVA

***Key words**: forest felling, brown soils, enzyme activity, anthropogenic impact*

ОСОБЕННОСТИ ФАУНЫ ДОЖДЕВЫХ ЧЕРВЕЙ ПОД НЕКОТОРЫМИ ТИПАМИ ДРЕВЕСНОЙ И ЛУГОВОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ В МОСКВЕ И МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ

М.Я. ВОЙТЕХОВ

Талдомская администрация особо охраняемых природных территорий, г.Талдом Московской области

Ключевые слова: *лесные и луговые почвы, Московский регион, фауна* Lumbricidae

В период 2020-2021 годов проведено изучение по стандартной методике (на площадках 20х20 см на глубину 15 см) образцов фауны дождевых червей под посадками разных лиственных видов деревьев и на луговых и газонных участках в Тропарёвском парке и парке 50-летия Октября в г. Москве и в Талдомском районе Московской области. На всех площадках в московских парках, кроме отдельно отмеченного случая, почвообразующей породой является средний суглинок, постепенно переходящий с глубиной к морене более тяжёлого механического состава. Кроме отмеченных случаев, под каждым типом растительности изучено по 5 площадок.

Наибольшее обилие по количеству экземпляров наблюдалось в мертвопокровном (единичные злаки, покрытие <1%) сомкнутом липняке – 38-55 экземпляров (в основном ювенильных) мелкого эндогейного вида *Aporrectodea rosea* на площадку. Также не регулярно отмечены эндогейные *Aporrectodea caliginosa* (5 экз.) и эндогейно-эпигейные *Lumbricus rubellus* (3 экз.) на все 8 площадок, изученных в липняке.

Наибольшее видовое разнообразие среди лесных участков наблюдалось под разнотравными кленовником в парке 50-летия Октября или ясенниками в Тропарёвском парке и парке 50-летия Октября, на каждой площадке: 2-9 экз. *A. caliginosa*; 1-3 экз. *A. rosea*; 0-4 экз. *L. rubellus*; 1-4 экз. эндогейного *Dendrobaena octaedra* и 0-3 экз. крупного норного вида *Lumbricus terrestris*.

Под березняками видовой состав и обилие дождевых червей различались в зависимости от напочвенного покрова. В низкотравно-злаковом березняке в парке 50-летия Октября на площадках отмечено по 3-7 экз. *A. caliginosa*; 1-3 экз. *A. rosea*; и, на все 5 площадок, 1 экз. *L. rubelus*. В осоковом березняке в Тропарёвском парке 1-3 экз. *A. caliginosa* и, на все 3 площадки, 1 экз. *A. rosea*.

Для сравнения проведено изучение фауны дождевых червей на некосимых лугах и косимых газонах в тех же парках. На площадках на высокотравном лугу с преобладанием ежи сборной, овсяницы гигантской, тимофеевки, пырея, пижмы, клевера и вики, отмечено по 1-3 экз. *A. caliginosa* и, на все 5 площадок, 1 экз. *A. rosea*. На отделённом гравийной дорожкой от этого луга косимом газоне с тем же составом травостоя, но без пижмы, отмечено по 3-6 экз. *A. caliginosa*, 1-2 экз. *A. rosea* и по 1 экз. *L. rubelus*. На 2 площадках, из этих 5 на этом газоне, расположенных в 5-6 м от зарослей самосева ясеня высотой до 3 м также отмечено по 1 экз. *D. octaedra*. Такой же состав и обилие дождевых червей выявлены на газоне в Тропарёвском парке на площадках, расположенных в пределах 8 м от края описанного выше березняка осокового, и на газоне на территории базы заказника «Журавлиная родина» в Талдомском р-не Московской области (здесь почвообразующей породой служит покровный суглинок, подстилаемый на глубине 0,8-1,0 м карбонатной мореной менее однородного, но, в целом, более грубого механического состава).

На некосимом лугу на территории базы заказника «Журавлиная родина», где корневища ежи сборной, овсяницы гигантской, тимофеевки и пырея образуют близ поверхности почвы сплошной мат толщиной 5-6 см, на 5 изученных площадках не найдено ни одного дождевого

червя. На расположенном среди этого луга «пятачке» площадью около 12 м2, с менее сомкнутым высокотравьем и вторым ярусом из различных губоцветных и купыря, состав и обилие дождевых червей на 2 площадках не отличались от таковых косимого газона (мат корневищ на этом участке отсутствует).

База «Журавлиной родины» расположена на вершине моренного холма. Исследования дождевых червей у подножья этого холма со злаковым высокотравьем того же состава (но менее выраженным матом корневищ), где после дождей и таяния снега сохраняется верховодка, обилие дождевых червей намного выше: 23-38 экз. на площадку (все отмеченные выше виды), при этом доминирование видов на площадках сильно различается. На 3 площадках (из 11) более половины всех экземпляров дождевых червей составляют *A. caliginosa*, на 3 – более гидрофильный эндогейный вид *Octolasion cyaneum*, на 2 доминирует *L. rubellus* (но число его экземпляров не превышает половины всего количества дождевых червей). Связи обилия разных видов червей с видимыми факторами (особенности микрорельефа, близость спорадически расположенных кустов ивы или тропинок с низкотравной растительностью по краям и др.) выявить не удалось.

На тяжело-суглинистом, приближающемся к глинистому участке парка 50-летия Октября (представляющем собой косогор с уклоном 5-8°), на косимом газоне того же видового состава трав, что и на описанном выше средне-суглинистом участке, значимых отличий видового состава и обилия дождевых червей от других изученных газонов не выявлено. На отделённом гравийной дорожкой от этого газона некосимом лугу с преобладанием крапивы двудомной и недотроги железистой видовой состав и обилие видов дождевых червей совпадали с характерными для кленовника и ясенников.

Выводы: видовой состав и обилие дождевых червей зависят от обилия легко разлагающегося опада и могут совпадать на участках под некоторыми видами деревьев и типами травостоев; видовой состав дождевых червей существенно различается под липой и клёном и ясенем. Кошение травостоев без удаления скошенной массы способствует повышению обилия дождевых червей на более бедных участках (видимо, в результате регулярного поступления молодых, лучше разлагающихся побегов трав), но снижает их обилие и число видов на участках с более богатой почвообразующей породой (видимо, за счёт элиминации видов трав с более богатым питанием опадом).

ЛИТЕРАТУРА

1. Всеволодова-Перель Т.С. Дождевые черви фауны России: Кадастр и определитель / Отв. ред. Н.М. Чернова. М.: Наука, 1997. 102 с.

FEATURES OF THE FAUNA OF EARTHWORMS UNDER SOME TYPES OF WOODY AND MEADOW VEGETATION IN MOSCOW AND THE MOSCOW REGION

M.Ya. VOYTEHOV

Key words: *fauna Lumbricidae, Moscow region, woody and meadow soils*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СОДЕРЖАНИЯ АЗОТА И УГЛЕРОДА В ЛЕСНОЙ ПОДСТИЛКЕ НА ОСНОВЕ ИЗМЕРЕНИЙ СЕТИ НАЗЕМНОГО МОНИТОРИНГА ICP FORESTS И ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ ИЗ КАТАЛОГА GOOGLE EARTH ENGINE

Е.А. ГАВРИЛЮК, А.И. КУЗНЕЦОВА

Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов Российской академии наук, г. Москва

Ключевые слова: *данные ДЗЗ, лесные почвы, машинное обучение, отношение C : N, случайные леса, таежные леса*

Лесная подстилка, являясь продуктом функционирования лесных биогеоценозов, регулирует широкий спектр экосистемных процессов. Характеризующие качество лесного опада показатели содержания азота (N) и углерода (C), а также величина их отношения (C:N) – надежные индикаторы скорости процессов минерализации, от которых напрямую зависит продуктивность лесных почв и их способность к депонированию углерода (Федорец, Бахмет, 2003; Yang et al., 2011). В условиях глобального изменения климата большое внимание уделяется уточнению оценок запасов почвенного органического вещества. Показано, что доля подстилки в общих запасах углерода может достигать 30% (Бахмет, 2018; Lukina et al., 2020; Чернова и др., 2020).

В предыдущем исследовании авторов были продемонстрированы возможности использования временнóй серии оптических мультиспектральных спутниковых изображений высокого пространственного разрешения для геопространственного моделирования содержания C и N в подстилке раннесукцессионных лесных сообществ заповедника «Брянский лес» методами машинного обучения (Гаврилюк и др., 2021). Целью настоящей работы являлась оценка возможностей использования разработанной методологии на территории значительно большего пространственного охвата и для лесов иного типа, в частности, северо- и среднетаежных.

Исследование проводилось на территории Республики Карелия и Карельского перешейка (Ленинградская область). В 2008-2009 годах в рамках международного проекта ICP Forests (Lorenz, 1985) здесь была заложена регулярная сеть наземных пробных площадей (Бахмет и др., 2011), на которых, помимо прочих показателей, оценивались характеристики лесной подстилки и почвы (Lukina et al., 2019, 2020). В работе использовались данные со 109 пробных площадей, включающие измерения содержания азота (N%) и углерода (C%), их соотношения (C:N), отношения содержания азота к фосфору (N:P), запаса углерода, мощности и запаса подстилки для подгоризонта FH, а также запасов углерода в минеральном слое почвы различной мощности (от 10 до 50 см).

Исходный набор геопространственных данных для моделирования формировался из нескольких независимых источников с использованием возможностей платформы Google Earth Engine (Gorelick et al., 2017). Вариабельность свойств лесного покрова характеризовали разносезонные мультиспектральные композитные изображения, сформированные из снимков Landsat (USGS, 2021) за период с 2006 по 2010 год. Для учета рельефа местности использовались данные ALOS GDEM (Tadono et al., 2014), для почвенных характеристик – тематические растровые изображения SoilGrids (Hengl et al., 2017), для климатических особенностей – биоклиматические переменные из базы данных WorldClim (Hijmans et al., 2005).

Случайные леса (Breiman, 2001) использовались для построения регрессионных моделей, вместе с сопутствующим им комплексом методов для автоматического подбора параметров алгоритма, оценки информативности переменных и точности полученных

результатов, реализованным в программной среде R в пакетах caret (Kuhn, 2019) и ranger (Wright, Ziegler, 2017). Поскольку исходные наземные данные имели относительно низкую точность привязки, измерения с пробных площадей сопоставлялись со значениями геопространственных переменных в радиусе 100 метров от точки заложения с последующим автоматизированным поиском пикселей, обеспечивающих наилучшую производительность при моделировании.

Наилучшие (по формальным критериям) модели были получены для показателей соотношения C:N – коэффициент детерминации R2 = 0.53 при среднеквадратической ошибке RMSE = 17.9% от среднего по выборке, содержания N% – R2 = 0.39 при RMSE = 17.8%, соотношения N:P – R2 = 0.38 при RMSE = 21.6% и содержания C% – R2 = 0.21 при RMSE = 15.3%. Показатели эффективности моделей для C%, N% и C:N заметно ниже, но вполне сопоставимы с аналогичными результатами, полученными для «Брянского леса». Кроме того, статистически значимые (хотя и значительно менее точные) модели удалось получить для запасов углерода в подгоризонте FH и минеральных слоях почвы мощностью 10 и 20 см, а также запаса подстилки.

Таким образом, были продемонстрированы возможности переноса и масштабирования разработанных ранее методов для геопространственного моделирования показателей содержания C и N в лесной подстилке. В дальнейшем планируется апробировать данную методологию в разновозрастных хвойно-широколиственных лесах на территории Национального парка «Смоленское Поозерье».

Исследование выполнено в рамках государственного задания ЦЭПЛ РАН АААА-А18-118052590019-7 (тематическая обработка данных) при финансовой поддержке Российского научного фонда (21-74-20171, подготовка исходных геопространственных данных и написание программных скриптов). Наземные данные были собраны сотрудниками ЦЭПЛ РАН в рамках ГК с ФГУ «Рослесозащита» на услуги сопровождения работ по программе мониторинга состояния лесов ICP Forests в 2008 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бахмет О.Н. Запасы углерода в почвах сосновых и еловых лесов Карелии // Лесоведение, 2018. № 1. С. 48–55.
2. Бахмет О.Н., Федорец Н.Г., Крышень А.М. Исследования по международной программе ICP-Forests в Карелии // Труды Карельского научного центра Российской академии наук, 2011. № 2. С. 133–139.
3. Гаврилюк Е.А., Кузнецова А.И., Горнов А.В. Геопространственное моделирование содержания и запасов азота и углерода в лесной подстилке на основе разносезонных спутниковых изображений Sentinel-2 // Почвоведение. 2021. № 2. С. 168–182.
4. Федорец Н.Г., Бахмет О.Н. Экологические особенности трансформации соединений углерода и азота в лесных почвах. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2003. 240 с.
5. Чернова О.В., Рыжова И.М., Подвезенная М.А. Оценка запасов органического углерода лесных почв в региональном масштабе // Почвоведение. 2020. №. 3. С. 340–350.
6. Breiman L. Random forests // Machine Learning. 2001. V. 45. No. 1. P. 5–32.
7. Gorelick N., Hancher M., Dixon M., Ilyushchenko S., Thau D., Moore R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone // Remote Sensing of Environment. 2017. V. 202. P. 18–27.
8. Hengl T., Mendes de Jesus J., Heuvelink G.B.M., Ruiperez Gonzalez M., Kilibarda M., Blagotić A., Shangguan W. et al. SoilGrids250m: Global gridded soil information based on machine learning // PLoS ONE. 2017. V. 12. No. 2. P. e0169748.

9. Hijmans R.J., Cameron S.E, Parra J.L., Jones P.G., Jarvis Very High Resolution Interpolated Climate Surfaces for Global Land Areas // International Journal of Climatology. 2005. V. 25. P. 1965–1978.
10. Kuhn M. caret: Classification and Regression Training. R package version0-84. [Электронный ресурс]. URL: https://CRAN.R-project.org/package=caret (дата обращения 12.07.2019).
11. Lorenz M. International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests -ICP Forests- // Water, Air, and Soil Pollution. Vol. 85. P. 1221–1226.
12. Lukina N., Kuznetsova A., Tikhonova E., Smirnov V., Danilova M., Gornov A., Bakhmet O., Kryshen A., Tebenkova D., Shashkov M., Knyazeva S. Linking Forest Vegetation and Soil Carbon Stock in Northwestern Russia // Forests. 2020. V.11. No. 9. P. 979.
13. Lukina N.V., Tikhonova E.V., Danilova M.A. et al. Associations between forest vegetation and the fertility of soil organic horizons in northwestern Russia // Forest Ecosystems. 2019. Vol. 6. No. 1. P. 1–19.
14. Tadono T., Ishida H., Oda F., Naito S., Minakawa K., Iwamoto H. Precise Global DEM Generation by ALOS PRISM // ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2014. Vol. 2. No. 4. P. 71–76.
15. USGS Landsat Missions [Электронный ресурс]. URL: https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat (дата обращения 24.03.2021).
16. Wright M.N., Ziegler A. ranger: A Fast Implementation of Random Forests for High Dimensional Data in C++ and R // Journal of Statistical Software. 2017. V. 77. No. 1. P. 1–17. doi:10.18637/jss.v077.i01
17. Yang Y., Luo Y., Finzi A.C. Carbon and nitrogen dynamics during forest stand development: a global synthesis // New Phytologist. 2011. V. 190. P. 977–989.

MODELING OF NITROGEN AND CARBON CONTENT IN FOREST LITTER BASED ON FIELD MEASUREMENTS FROM THE ICP FORESTS MONITORING NETWORK AND GEOSPATIAL DATA FROM THE GOOGLE EARTH ENGINE CATALOG

E.A. GAVRILYUK, A.I. KUZNETSOVA

Key words: *forest soil, taiga forests, C:N ratio, remote sensing data, random forest, machine learning*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛИ SIMWE (SIMULATED WATER EROSION) В КРАСНОБОРСКОМ ЛЕСНИЧЕСТВЕ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

М.Э. ГАСАНОВ[1], А.Ю. ПЕТРОВСКАЯ[1], П.Н. ТРЕГУБОВА[1], А.Б. ИВАНОВ[1], А.В. КЕДРОВ[2], М.А. ПУКАЛЬЧИК[1]

[1]Сколковский институт науки и технологий, г. Москва
[2]Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь

Ключевые слова: *ГИС, лесные почвы, моделирование поверхностного стока*

Актуализация данных о состоянии лесного фонда является приоритетной задачей для многих отраслей науки и государственного управления. Методы дистанционного зондирования позволяют значительно снизить затраты на проведение лесотаксационных мероприятий. Повысить качество таксации лесов позволит использование информации о почвенной влажности.

Почвенные условия определяют качество леса и породный состав деревьев. Повышенная почвенная влажность значительно влияет на скорость роста деревьев, а режимы влажности почвы демонстрируют сильную взаимосвязь с составом растительности. Однако задача моделирования поверхностного стока лесных участков осложняется из-за следующих факторов. Лесная растительность скрывает почвенный покров от прямого обзора спутников. Для карт влажности почвы, полученных со спутников Moisture and Ocean Salinity (SMOS) и Soil Moisture Active Passive (SMAP) погрешность при густой растительности может превышать 50%. Кроме того, на изменчивость влажности почвы существенное влияние оказывает подстилающие породы и уровень грунтовых вод. Эти данные в высоком разрешении недоступны для большинства лесных регионов.

Целью данного исследования является проведение гидрологического моделирование поверхностного и подповерхностного стока воды для выявления содержания влаги в почве и режима увлажнения почвы в условиях лесных экосистем.

В качестве входных данных использовались данные о высоте, полученные с помощью беспилотного летательного аппарата, физические характеристики почвы из системы глобального цифрового картирования почв SoilGrids и исторической погоды из системы NASA POWER.

Модуль r.sim.water в ГИС GRASS является частью модели SIMWE, предложенной Mitas и Mitasova (1998). Он основан на моделировании методом Монте-Карло и приближении диффузионных волн дифференциальных уравнений Сен-Венана (Mitasova et al., 2004). Ключевые входные параметры для модуля r.sim.water включают цифровую модель рельефа, градиент потока воды (определяемый частными производными первого порядка карты высот), скорость поступления осадков и коэффициент шероховатости поверхности Мэннинга. Продолжительность моделирования определяется количеством итераций. Количество итераций и размер сетки оказывают сильное влияние на скорость вычислений. Описанная модель позволяет оценить распределение глубин проникновения воды (м) и расхода воды ($м^3/с$).

Для проведения моделирования была выбрана территория Красноборского лесничества в Архангельской области. Для территории лесничества была получена цифровая модель рельефа (ЦМР). Для задачи моделирование мы выбрали ЦМР с пространственным разрешением 30 на 30 м для одного пикселя. В ходе исследования были проведены множественные симуляции для оценки параметров модели и выбора наилучших значений

параметров. Вычисления проводились с использованием вычислительного кластера Сколтеха. Для моделирования летнего сезона осадков требовалось 8 часов и 16 ядер CPU. В результате моделирования были получены карты распределения глубины проникновения воды и расхода воды для Красноборского лесничества. В дальнейшем, полученные карты будут использованы для повышения качества лесотаксации изучаемой территории.

Коллектив авторов выражаем благодарность сотрудникам Красноборского лесничества.

ЛИТЕРАТУРА

1. Mitas L., Mitasova H. Distributed soil erosion simulation for effective erosion prevention // Water resources research. 1998. V. 34. No. 3. P. 505-516.
2. Mitasova H., Thaxton C., Hofierka J., McLaughlin R., Moore A., Mitas L. Path sampling method for modeling overland water flow, sediment transport, and short term terrain evolution in Open Source GIS // Developments in Water Science. Elsevier, 2004. V. 55. P. 1479–1490.

SURFACE RUNOFF MODELING USING THE SIMWE (SIMULATED WATER EROSION) MODEL IN THE KRASNOBORSKY FORESTRY OF THE ARKHANGELSK REGION

M.E. GASANOV, A.Y. PETROVSKAIA, P.N. TREGUBOVA, A.B. IVANOV, A.V. KEDROV, M.A. PUKALCHIK

Key words: *GIS, modeling of surface runoff, forest soils*

ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА И СТРУКТУРЫ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ГОРНЫХ СИСТЕМ СРЕДНЕГО УРАЛА

Ф.Г. ГАФУРОВ, И.Н. КОРКИНА

Институт экологии растений и животных Уральского отделения
Российской академии наук, г. Екатеринбург

***Ключевые слова**: горные системы, информационный массив, морфоскульптура, почвенная карта, структура почвенного покрова*

Своеобразие физико-географического положения горных систем Среднего Урала, а также их историческое прошлое обусловили геоморфологическую уникальность этой территории. Набор экологических условий формирования почвенного покрова на каждой из этих систем уникален, что в конечном итоге привело к своеобразию состава и структуры их почвенного покрова. Общеизвестно то, что пространственное распределение почв в горах подчинено закономерностям, обусловленным горным характером этих ландшафтов. Прежде всего это высотная поясность, экспозиция и крутизна склонов, а также особенность биоценозов. Однако, как было установлено широкомасштабными почвенными съемками обширной территории Висимского государственного биосферного заповедника, на формирование состава и структуры почвенного покрова старых разрушенных горных стран, каковыми являются и горные системы Среднего Урала, достаточно весомое влияние оказывает и разновозрастность этих горных ландшафтов.

Имеющаяся почвенная карта Свердловской области в масштабе 1:500 000 изготовлена ГУК на основе дистанционных методов почвенного картирования в 1990 году. Это мелкомасштабная обзорная карта дает представление о почвенном покрове области на уровне не более чем почвенные округа и районы, что с некоторыми допущениями равнозначны понятиям ландшафтных округов и районов. Такой информации недостаточно для реального представления состава, структуры и качества почвенного покрова территорий.

Кроме того, накопленные к настоящему времени сведения о лесных почвах области представляют собой важные, но разрозненные данные, полученные разными исследователями на отдельных участках, что затрудняет их сравнение, анализ и использование в научных и прикладных задачах.

Начатая в 2017 году по инициативе руководства Висимского биосферного заповедника работа по почвенному картированию территории этой ООПТ в конечном итоге позволила не только изготовить крупномасштабную почвенную карту заповедника, но и получить полноценный фактический материал по составу, структуре, генезису для обширной горной лесной территории Среднего Урала. Были выявлены основные закономерности распределения почв по отдельным разновозрастным горным системам. В ходе работы были уточнены диагностические признаки местных почв и их уровень загрязнения тяжелыми металлами. Выявлены участки с фоновыми почвами и определены места локализации эталонных почв.

Полевые почвенные изыскания проводились в 2017-2021 гг. в пределах остаточных гор западного и низкогорья восточного склонов Среднего Урала на 33,5 тыс. га территории ФГБУ Висимского государственного природного биосферного заповедника. Изучение состава почвенного покрова реализовано на натурных обследованиях почвенных ареалов на местности по ключевым участкам и на экстраполяции почвенно-ландшафтных связей ключевых участков на однотипные территории.

Согласно геоморфологическому районированию Урала, восточная часть заповедника находится в районе приподнятых горных массивов Среднего Урала, а западная – в районе остаточных гор западного склона. Рельеф восточной части заповедника имеет настоящий горный характер с абсолютными высотами от 550 до 700 м над уровнем моря и перепадом высот 250-300 м, а западной части — низкогорно-увалистый с мягкими очертаниями коротких хребтов и увалов, разделенных широкими межгорными депрессиями.

Для территории заповедника характерны две поверхности выравнивания: позднемезозойская (средняя юра – нижний олигоцен) на высоте 500-650 м над уровнем моря и среднекайнозойская (средний и верхний олигоцен) на высоте 350-400 м над уровнем моря.

По сходству и различиям морфоскульптур горных систем исследуемой части Среднего Урала и связанных с ними разных по возрасту геологических структур удалось на территории Висимского государственного биосферного заповедника выделить четыре различных морфоструктуры земной поверхности на которых сформировались четыре разных почвенных района.

1. Сутукский (Восточный) низкогорный (500-700 м над уровнем моря) почвенный район. Основными факторами дифференциации почвенного покрова являются высотная экспозиция и литологическая дифференцированность почвообразующих пород. В СПП почвенного района ведущее место принадлежит мозаикам горных лесных бурых или примитивных почв с горными дерново-подзолистыми почвами. В нижней части склонов обычны сочетания автоморфных горных лесных дерново-подзолистых почв с полугидроморфными дерново-подзолистыми почвами. По долинам рек — сочетания полугидроморфных дерново-подзолистых почв с почвами гидроморфного ряда. Генетико-геометрический рисунок горных вершин ассимитрично-кольцевой пятнистый, склонов — полосчатый, разреженный наложенно-древовидный. В целом структура почвенного покрова района сложная по строению и сильноконтрастная по составу.

2. Центральный холмисто-увалистый (450-570 м над уровнем моря) почвенный район. В СПП почвенного района ведущее место принадлежит мозаикам-сочетаниям горных лесных бурых или примитивных почв с автоморфными и полугидроморфными дерново-подзолистыми почвами. Дифференциация почвенного покрова обусловлена литологической неоднородностью почвообразующих пород, высотной поясностью, проявлениями денудационно-аккумулятивных и водно-миграционных процессов. Генетико-геометрический рисунок СПП пятнисто-кольцевидный на вершинах гор и увалов, наложенно-древовидный на склонах и по долинам рек. В целом СПП района среднеконтрастная по составу и сложная по строению.

3. Западный равнинный (420-440 м над уровнем моря) почвенный район. В СПП района ведущее место занимают мозаики горных примитивных почв с горными дерново-подзолистыми почвами. Подчиненное положение занимают сочетания в различной степени оглеенных дерново-подзолистых почв. Дифференциация почвенного покрова обусловлена литологической неоднородностью почвообразующего чехла и высотно-экспозиционными факторами. Генетико-геометрический рисунок СПП типично древовидный вытянутый вдоль увалов и долин рек. В целом структура почвенного покрова района среднеконтрастная по составу и несложная по строению.

4. Сулемский пойменно-террасный (380-400 м над уровнем моря) почвенный район. В СПП района ведущее место занимают сочетания мезокомбинаций автоморфных дерново-подзолистых почв с полугидроморфными дерново-подзолистыми почвами. Подчиненное положение занимают мозаики аллювиальных дерново-глееватых почв с аллювиальными болотными почвами. СПП дифференцирована исходной литологической разнородностью

почвообразующих пород и совместными проявлениями денудационно-аккумулятивных и водно-миграционных процессов. Генетико-геометрический рисунок СПП четкий линейно-древовидный частью пятнистый. В целом структура почвенного покрова района сильноконтрастная по составу и сложная по строению.

В ходе проведенных исследований впервые для столь обширной и неоднородной по экологическим условиям почвообразования лесной территории Среднего Урала получен согласованный по единым методическим подходам массив данных, включающий пространственную и ландшафтную привязку, условия почвообразования, классификационные признаки почв и количественные параметры основных физико-химических свойств почв. Полученный информационный массив должен стать основой интегральной системы данных о современном составе, структуре почвенного покрова и качестве почв, создания почвенной карты в среде ГИС и быть использован для научно-исследовательских задач, мониторинга и прогнозирования состояния почвенного покрова при изменении природной среды и оценке изменений почв при разных видах воздействий и использования.

Финансирование: договорная НИР

FEATURES OF THE COMPOSITION AND STRUCTURE OF THE SOIL COVER OF THE MOUNTAIN SYSTEMS OF THE MIDDLE URALS

F.G. GAFUROV, I.N. KORKINA

Key words: *mountain systems, soil map, morphosculptures, structure of the soil cover, information array*

ДИНАМИКА ПОЧВЕННОЙ ФАУНЫ И МОЩНОСТИ ПОДСТИЛКИ В ПОСТАГРОГЕННЫХ ПОЧВАХ СОСНОВЫХ ЛЕСОВ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «СМОЛЕНСКОЕ ПООЗЕРЬЕ»

А.П. ГЕРАСЬКИНА[1], А.И. КУЗНЕЦОВА[1], Д.А. ТЕРЕХОВА[2], Е.В. ТИХОНОВА[1], И.Н. СЕМЕНКОВ[1,2]

[1]Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов Российской академии наук, г. Москва
[2]Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва

Ключевые слова: *беспозвоночные, органопрофиль, распашка, сапрофаги, сукцессия*

Задачи исследования включали изучение почвенной макрофауны и запасов подстилки в сосняках разного возраста на месте распахиваемых земель легкого (супесчаного) гранулометрического состава. В середине лета (до начала листопада) 2021 г. обследованы молодые (менее 30 лет), средневозрастные (50-70) и старовозрастные (более 70) сосняки. В качестве контроля выбраны действующие пашни и нераспахиваемые сосняки (возраст древостоя 70-110 лет), промежуточного начального этапа залежной сукцессии – многолетние луга. Каждая из 6 стадий изучена в трехкратной повторности на 18 пробных площадях.

Методы. Для изучения почвенной макрофауны на каждой пробной площади взято по 5 стандартных почвенно-зоологических проб из монолитов площадью 25 × 25 см и глубиной 30 см. Кроме того, на лесных участках дополнительно разобран валеж (как правило, сосны и березы 2-3 стадий разложения) – важное местообитание крупных почвенных беспозвоночных. Большинство представителей макрофауны идентифицированы до надвидовых таксонов. Виды дождевых червей определены по Т.С. Всеволодовой-Перель (1997). Подстилка отобрана на каждой пробной площади в пятикратной повторности с площадок 25 × 25 см. Морфология подстилок, включая мощность и строение, охарактеризованы в полевых условиях, тип – по классификации Л.Г. Богатырева (1990).

Типология и мощность подстилок. В ходе естественного постагрогенного зарастания лесом меняется строение органопрофиля почв. На пашне и залежи большая часть деструктивных подстилок фрагментарна и представлена одним горизонтом из опада текущего года. Ферментативная подстилка обнаружена в молодом сосняке и состояла из двух горизонтов – деструктивного и ферментативного. Гумифицированная подстилка характерна для более поздних стадий хроноряда. В сосновых лесах с возрастом увеличивается запас подстилки, степень ее гумификации и мощность. На пашне подстилка очень маломощная (0.1 – 0.5 см), на начальных этапах зарастания – (мало)мощная (0.4–4 см). В молодых лесах средняя мощность подстилки составляет 2.7 см, а в 60-ти летних сосняках увеличивается практически до 4.9 см при вариабельности от 3 до 7 см. В старовозрастных сосняках с признаками распашки средняя мощность подстилки составляет 4.3 см при разбросе от 2 до 7.5 см. В старовозрастных сосняках без признаков распашки средняя мощность подстилки составляет 7.1 см при вариабельности от 4 до 12.5 см.

Почвенная макрофауна. На пашнях выявлены минимальные значения численности (46 экз./м2) и биомассы (2.0 г/м2) почвенной макрофауны. Среди трофических групп преобладают фитофаги, представленные в основном личинками жуков-щелкунов (Elateridae). Сапрофаги немногочисленны и представлены личинками двукрылых (сем. Tipulidae), очень редко встречены лесные тараканы (сем. Ectobiidae) и собственно почвенные дождевые черви – *Aporrectodea caliginosa* (сем. Lumbricidae), т.н. «пашенный червь». Группа хищников вносит наименьший вклад в биомассу, в основном, представлена личинками и имаго стафилинид (сем. Staphylinidae), жужелиц (сем. Carabidae) и пауками (сем. Araneidae).

На многолетних лугах относительно пашен выше численность (84 экз./м^2) и биомасса (6.0 г/м^2) беспозвоночных. Значения биомассы здесь максимальные среди обследованных объектов, поскольку такие открытые биотопы, не испытывающие в настоящее время прямого антропогенного воздействия, благоприятны для заселения различными насекомыми, личинки которых и вносят большой вклад в биомассу. Как и на пашнях здесь значимо доминируют по биомассе фитофаги – в основном личинки семейства пластинчатоусых жуков (Scarabaeidae). Также довольно многочисленны личинки жуков-щелкунов. Реже встречаются личинки и имаго жуков-листоедов (сем. Chrysomelidae). Значимо выше в сравнении с пашнями биомасса сапрофагов. Основной вклад вносят дождевые черви, представленные двумя группами: почвенно-подстилочной (*Lumbricus rubellus*) и собственно почвенной (*A. caliginosa* и *Octolasion lacteum*). Хищники немногочисленны и представлены теми же группами, что обитают на пашнях. Кроме того, встречаются представители сем. губоногих многоножек (Lithobiidae), как правило, род *Lithobius*.

В сосняках разного возраста на постагрогенных почвах показатели численности макрофауны возрастают от молодых сосняков (55 экз./м^2) к средневозрастным (67 экз./м^2) и наиболее старым (110 экз./м^2). Показатели биомассы в молодых и средневозрастных сосняках значимо не различаются и составляют в среднем 2.5 г/м^2. В старовозрастных сосновых лесах биомасса значимо возрастает до 3.8 г/м^2. В сравнении с пашнями и лугами возрастает роль сапрофагов: повышается их доля от общей биомассы макрофауны за счет значительного снижения биомассы фитофагов (личинок и имаго жуков-щелкунов и пластинчатоусых жуков). В группе сапрофагов уже в молодых лесах появляются двупарноногие многоножки-кивсяки (сем. Julidae) и лесные виды дождевых червей подстилочной группы: *Dendrobaena octaedra* и *Dendrodrilus rubidus*, которые типичны и для сосняков среднего возраста. Часто подстилочные черви обнаруживаются в валеже. В старовозрастных сосняках к этим видам также добавляется почвенно-подстилочный *L. rubellus*. Биомасса хищников также возрастает в сосновых лесах в сравнении с открытыми биотопами, повышается роль жужелиц – наиболее крупных представителей этой трофической группы.

В условно коренных сосняках на почвах без признаков распашки общая численность (81 экз./м^2) и биомасса (2.2 г/м^2) макрофауны ниже, чем в других сосняках, что связано с изменением качества опада подстилки – трофического ресурса для подстилочных сапрофагов. В старых сосняках отсутствие березы снижает трофическую ценность подстилки, так как уменьшается количество наиболее ценной для почвенных сапрофагов легкоразлагаемой фракции березового опада (Kuznetsova et al., 2021). При этом таксономический состав как сапрофагов, так и других трофических групп принципиально не отличается от более молодых сосняков.

Установленные изменения свойств подстилки, характеризующиеся увеличением ее гумусированности и мощности в ходе сукцессии, часто взаимосвязаны с динамикой плотности, биомассы и состава функциональных групп макрофауны. С одной стороны, подстилка служит трофическим ресурсом почвенным сапрофагам, которые, активно перерабатывая опад, гумифицируют ее. С другой стороны, подстилка – важное местообитание многих групп почвенной фауны, поэтому с увеличением мощности подстилки увеличивается плотность и биомасса макрофауны. Биомасса макросапрофагов во многом зависит от качества древесного опада, и уменьшение доли листьев березы в подстилке приводит к снижению биомассы этой трофической группы в наиболее старых сосняках, что также может способствовать накоплению подстилки.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Богатырев Л.Г. О классификации лесных подстилок // Почвоведение. 1990. №. 3. С. 118–127.
2. Всеволодова-Перель Т.С. Дождевые черви фауны России. Кадастр и определитель. М.: Наука, 1997. 101 с.
3. Kuznetsova A.I.; Geraskina A.P.; Lukina N.V.; Smirnov V.E.; Tikhonova E.V.; Shevchenko N.E.; Gornov A.V.; Ruchinskaya E.V.; Tebenkova D.N. Linking vegetation, soil carbon stocks, and earthworms in upland coniferous–broadleaf forests // Forests. 2021. V. 12. No 9. Article1179. DOI: 10.3390/f12091179.

DYNAMICS OF SOIL FAUNA AND LITTER LAYER THICKNESS IN POSTAGROGENIC SOILS OF PINE FORESTS AT THE "SMOLENSK LAKELAND" NATIONAL PARK

A.P. GERASKINA, A.I. KUZNETSOVA, D.A. TEREKHOVA, E.V. TIKHONOVA, I.N. SEMENKOV

Key words: *invertebrates, organoprofile, saprophages, succession, plowing*

ПИРОГЕННАЯ АКТИВНОСТЬ В УСЛОВИЯХ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ РЕСПУБЛИКИ КОМИ И КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ В ГОЛОЦЕНЕ

Н.М. ГОРБАЧ[1], В.В. СТАРЦЕВ[2], А.С. ПРОКУШКИН[3], А.А. ДЫМОВ[2]

[1]Сыктывкарский государственный университет имени Питирима Сорокина, г. Сыктывкар
[2]Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар
[3]Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, г. Красноярск

Ключевые слова: *бореальные леса, голоцен, макрочастицы угля, пожары, торфяные почвы*

Пожары на территориях бореальных ландшафтов, играли и играют важную роль в формировании и развитии экосистем (Pausas, Keeley, 2009). Их возникновение зависит от климатических условий, растительности и деятельности человека. Выбросы углекислого газа в результате учащения пожаров могут привести к эскалации глобального потепления. Негативное влияние огромного масштаба могут оказывать пожары в торфяных почвах, в связи со значительными запасами углерода, аккумулированными в них (Габбасова и др., 2005; Сирин и др., 2020). Целью настоящей работы является сравнение пирогенной активности в условиях средней тайги Республики Коми и Красноярского края в голоцене.

Исследования проводились в бореальной зоне Северо-Востока европейской части России и восточной части Западной Сибири. Объектами исследования явились торфяные олиготрофные почвы, расположенные в подзоне средней тайги Республики Коми («Койгородский» национальный парк и Печоро-Илычский заповедник) и Красноярского края (Средне-Енисейский стационар Института леса им. В.Н. Сукачева).

Реконструкцию динамики пожаров осуществляли по методике подсчета макроскопических частиц (макрочастиц) угля (Mooney, Tinner, 2011). Процесс предполагал отбор образца сырого торфа объемом 1 см^3 каждые 2 см торфяной колонки и последующее отбеливание в 10%-м водном растворе гипохлорита натрия объемом 100 см^3 в течение не менее 24 ч при комнатной температуре для выявления содержания углистых частиц. Так как в акротелме и катотелме процесс торфообразования идет по-разному (Инишева, 2006), история современных пожаров установлена с применением дендрохронологических методов (Madany et al., 1982). Радиоуглеродный анализ проведен жидкостно-сцинтилляционным методом с помощь спектрометра-радиометра Quantulus в Институте мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения РАН (ИМКЭС СО РАН).

Впервые представлены результаты по комплексному изучению пожаров в голоцене на территории бореальной зоны Северо-Востока европейской части России и восточной части Западной Сибири. Воссоздана динамика пожаров и скорость аккумуляции макрочастиц угля в торфяных залежах. Выявленные пирогенные признаки изученных торфяных олиготрофных почв отражают современное развитие болот и их отдельные этапы.

По результатам исследований выявлено, что болота Республики Коми (возрастом в 10225±200 и 7653±120 кал. л. н.) имеют близкую с болотами Западной Сибири (возрастом 9356±195 и 8381±120 кал. л. н.) историю палеопожаров. Высокое содержание макроскопических частиц угля наблюдается на границе бореального и атлантического периодов, в атлантическом и в субатлантическом периодах голоцена. Показано, что суббореальный период характеризуется существенно меньшим числом лесных пожаров. Данные результаты схожи с результатами исследований истории прошедших пожаров в Западной Сибири (Карпенко, Прокушкин, 2019).

Согласно полученным данным выявлена схожесть исследуемых территорий по динамике пожаров в голоцене, что говорит о том, что климатические изменения бореальной зоны в

прошлом были повсеместны и охватывали территории, как Европы, так и Азии. Полученные результаты соответствуют имеющимся данным об изменениях климата в голоцене на территории Евразии (Борисова, 2015), в которых указано, что в атлантический период среднегодовая температура и влажность превышали современные показатели, и в этот период наблюдались этапы резких климатических изменений.

Выявлено резкое увеличение концентрации макрочастиц угля в нижних горизонтах торфяных почв исследуемых территорий. Можно предположить, что пожары в них являлись фактором, приведшим к первоначальному заболачиванию территорий. Согласно дендрохронологическим исследованиям и анализу скорости аккумуляции макрочастиц угля, в конце субатлантического периода наблюдается повсеместное учащение пожаров. Вероятно, это связано с изменением климата и возрастанием антропогенного влияния.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Борисова О.К. Ландшафтно-климатические изменения в голоцене // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2015. № 2. С. 5–20.
2. Габбасова И.М., Сулейманов Р.Р., Ситдиков Р.Н., Гарипов Т.Т. Пирогенная деградация осушенных торфяных почв // Почвоведение. 2005. № 6. С. 724–730.
3. Инишева Л.И. Торфяные почвы: их генезис и классификация // Почвоведение. 2006. №. 7. С. 781–786.
4. Карпенко Л.В., Прокушкин А.С. Реконструкция пожаров в девственных лесах на междуречье Сым-Дубчес в голоцене // Сибирский лесной журнал. 2019. № 5. С. 61–69.
5. Сирин А.А., Медведева М.А., Макаров Д.А., Маслов А.А., Ханс Ю. Мониторинг растительного покрова вторично обводненных торфяников Московской области // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2020. Т. 65. № 2. С. 314–336.
6. Madany M.N., Swetnam T.W., West N.E. Comparison of two approaches for determining fire dates from tree scars. Forest Science. 1982. V. 28 (4). P. 856–861.
7. Mooney, S., Tinner, W. The analysis of charcoal in peat and organic sediments. Mires and Peat. 2011. V. 7. P. 1–18.
8. Pausas J. G., Keeley J. E. A burning story: the role of fire in the history of life // BioScience. 2009. V. 59. No. 7. P. 593–601.

DYNAMICS OF FIRES OF THE MIDDLE TAIGA OF THE REPUBLIC OF KOMI AND KRASNOYARSK KRAI DURING THE HOLOCENE

N.M. GORBACH, V.V. STARTSEV, A.S. PROKUSHKIN, A.A. DYMOV

Key words: *paleofires, histosols, Holocene, boreal forests, charcoal*

ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ И ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГОРОДСКИХ ПОЧВ В РЕКРЕАЦИОННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ Г. ВОЛГОГРАДА

О.А. ГОРДИЕНКО

Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук, г. Волгоград

Ключевые слова: *городские почвы, почвы, рекреационные территории, урбик, физические и химические свойства почв*

Актуальность исследования почвенного покрова в городских парках, садах, скверах и др. территориях обусловлена их экологической и рекреационной ролью. Объектом исследования являются почвы и техногенно-поверхностные образования (ТПО) сквера им. Саши Филиппова в г. Волгограде. Сквер является востребованным рекреационным объектом, расположен в центре города и функционирует более 60 лет. Климатические условия города характеризуются аридностью климата, резкими колебаниями температуры воздуха, сильными ветрами, неустойчивым режимом увлажнения. Сквер расположен на первой террасе правобережной части долины р. Волга.

В работе изучены свойства почв и ТПО при различном типе использования территории: 1 – закрытая для посещения территория с поливом; 2– открытая для посещения территория с поливом; 3 – открытая для посещения территория без полива.

Закрытая для посещения озелененная территория с поливом. При организации парков, скверов, бульваров и садов в г. Волгограде на дневную поверхность в несколько приемов отсыпают достаточно мощный рекультивационный горизонт RAT. Описанный горизонт RAT характеризуется темно-серой окраской, суглинистым гранулометрическим составом, комковатой структурой, уплотненным сложением. В пределах урболандшафтов г. Волгограда средняя мощность горизонтов RAT варьирует от 10 до 50 см. Для горизонтов RAT свойственна слабощелочная реакция среды (pHводный –7.93), низкое содержание солей и карбонатов (0.23 и 0.61% соответственно), высокие значения общего углерода до 1.76%. Плотность почвы в среднем 1.35 г/см^3. Вскипание с поверхности не отмечается из-за процессов выщелачивания в условиях искусственного полива территории. Гранулометрический состав в поле методом шнура характеризует эти горизонты как легкие суглинки или опесчаненные легкие суглинки.

Открытая для посещения озелененная территория с поливом. На участках, активно используемых посетителями, рекультивационные горизонты в отсутствии полива, привноса свежего плодородного материала, а также высокой рекреационной нагрузки со временем трансформируются в собственно городские горизонты урбик (UR), однако на уровне признаков (rat) в них сохраняются черты бывших рекультивационных горизонтов. Горизонты URrat как правило темного цвета, хорошо оструктуренные, с большим количеством растительных остатков. Вскипание с поверхности не отмечается из-за процессов выщелачивания в условиях искусственного полива территории. По своим химическим и физическим свойствам горизонты URrat разнообразны. Реакция почвенной среды характеризуется как слабощелочная (pHводный – 8.1), содержание карбоната кальция в них не велико и в среднем составляем 0,8%. Во всех исследуемых горизонтах фиксируются низкие значения общего солесодержания (0,12%). Что касается общего углерода, то его содержание в среднем 1,2%. По своим физических свойствам, а именно плотности, значения ее составляют в среднем 1.4 г/см^3.

Открытая для посещения территория без полива и насаждений. Ранее на этой территории на дневной поверхности находился компостно-минеральный слой, однако со временем произошла трансформация рекультивационного горизонта RAT сначала в гумусовый с признаками урбопедогенеза, а далее при постоянном привносе твердых аэральных выпадений, крупного мусора и других субстратов в урбиковый горизонт UR (Иванников, Прокофьева, 2010). Ввиду отсутствия полива вскипание в этих горизонтах происходит с поверхности, структура мелко-глыбистая сложение рыхлое. Реакция почвенной среды в них характеризуется как слабощелочная (pHводный – 7,9), содержание карбоната кальция в среднем составляем 0,9%. Значения общего солесодержания составляют 0,20%. Содержание общего углерода в среднем 0,9%. По своим физическим свойствам, а именно плотности, значения ее составляют в среднем 1,5 г/см^3.

Таким образом, проведенные исследования выявили изменения физических и химических свойств почв рекреационных территорий в зависимости от функционального назначения и наличия или отсутствия древесно-кустарниковой растительности. Для озелененных участков с поливом общим является выщелачивание почвенного профиля от карбонатов кальция и солей, а также высокие значения почвенного углерода и уменьшение плотности почвенных горизонтов за счет разрыхляющего действия корневых систем растений. Тогда как на участках без полива и растительности выявлено вскипание от 10-ти процентной кислоты с поверхности, а также во всех нижележащих горизонтах и несколько большее общее солесодержание чем на озелененных и поливных участках.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках научного проекта № 20-34-90129 «Почвы рекреационных территорий г. Волгограда: разнообразие, свойства, экологические функции».

ЛИТЕРАТУРА

1. Прокофьева Т.В., Попутникова В.О. Антропогенная трансформация почв парка Покровское-Стрешнево и прилегающих жилых кварталов // Почвоведение. № 6. 2010. С. 748–758.

CHANGES IN THE PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF URBAN SOILS IN THE RECREATIONAL AREAS OF VOLGOGRAD

O.A. GORDIENKO

Key words: *urban soils, urbic, physical and chemical properties of soils, recreational areas, soils*

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ ИНДИКАЦИЯ ПОЧВ ЗОНЫ СУХОЙ СТЕПИ В ИСКУССТВЕННЫХ ФИТОЦЕНОЗАХ ПОСЛЕ ПОЖАРА И АГРОТЕХНИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ (Р. ХАКАСИЯ)

И.Д. ГРОДНИЦКАЯ, В.А. СЕНАШОВА, О.Э. ПАШКЕЕВА, Г.И. АНТОНОВ

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, г. Красноярск

Ключевые слова: *антропогенные воздействия, географические культуры, искусственные посадки, микробные индикаторы, почвенные микробиомы, сухая озерно-котловинная степь*

Микробоценозы являются не только самой активной структурной единицей экосистемы, но и наиболее информативным диагностическим компонентом биоты, способным быстро реагировать на смену экологических условий, меняя при этом свою функциональную нагрузку. Ответные реакции микроорганизмов на воздействие различных нарушающих факторов проявляются быстро, достаточно отчетливо, что позволяет в короткие сроки выявить наиболее нарушенные экологические зоны, прогнозировать их состояние при сохранении или устранении антропогенного фактора. Как биоиндикатор, микробное сообщество является самым чутким показателем почвенно-химических условий, способное дать интегральную оценку состояния почвенного покрова и экосистемы в целом (Звягинцев, 1987; Ананьева, 2003; Сорокин, 2009). Использование микробных индикаторов позволяет проводить как оценку состояния почвенных микробоценозов, так и скорость их восстановления после антропогенных воздействий (пожар, агрохимические обработки и др.) с получением количественных характеристик.

Исследования почвенных микробоценозов неустойчивых аридных (степных) экосистем являются актуальными, поскольку с помощью микробиологической диагностики можно оценить состояние почвенного плодородия и развитие искусственно-создаваемых фитоценозов. Важнейшей задачей в степных экосистемах является создание устойчивых долголетних защитных лесных насаждений, выполняющих водоохранную, почвозащитную, санитарно-гигиеническую и эстетическую функции, поддерживающих агроэкологические свойства почв на оптимальном уровне.

В Ширинской сухой озерно-котловинной степи (Республика Хакасия) сотрудниками ИЛ СО РАН были созданы искусственные посадки лесных (1975-1978 гг.) и географических культур (2017 г.). Посадки были проведены на одном типе почв, которые идентифицируются как агроземы аккумулятивно-карбонатные темные легко- и среднесуглинистые (Классификация…, 2004).

Целью исследований являлось с помощью микробиологических индикаторов дать оценку изменений лесорастительных свойств почвы в искусственных фитоценозах: в посадках лесных насаждений, пройденных пожаром, и на плантации географических культур в прибрежной сухо-степной зоне оз. Шира (Ширинской степи).

Объектами исследований являлись почвенные микробиомы, ассоциированные с искусственными насаждениями: 1) взрослыми древостоями лесных культур (посадки 1975-1978 гг.), состоящих из лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb), вяза приземистого (*Ulmus humilis* L.), сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и 2) саженцами географических культур различных популяций/климатипов (посадки 2017 г.) *Pinus sibirica* (далее кедр, К) и *Pinus sylvestris* (далее сосна, С). В посадках 42-45 летних лесных культур в 2015 г. был сильный пожар, который повредил древостои и почвенный покров, повлиял на состояние почвенной микробиоты. Пробные площади в 42-45 летних посадках лесных культур (участки «Гари») выбраны по степени повреждения насаждений огнем, согласно терминологии Н.П. Курбатского (1972) – гари (полностью сгоревшие, Г) и пожарища (поврежденные огнем, но

продолжающие вегетировать, П): ГЛР – гарь лиственница ризосфера, ГЛМ – гарь лиственница междурядье; ГСР – гарь сосна ризосфера, КГС – контроль гарь сосна), ПЛМ – пожарище лиственница междурядье, ПЛР – пожарище лиственница ризосфера, ПВМ – пожарище вяз междурядье, ПВР – пожарище вяз ризосфера, КЛВ – контроль для лиственницы и вязов. Образцы почвы для микробиологических и биохимических анализов отбирали из зоны ризосферы и между рядами посадок (междурядье) с глубины 5-10 см с 2018 по 2020 гг.

В 2017 г. на территории ОЭП «Ширинский» ФИЦ КНЦ СО РАН сотрудниками ИЛ СО РАН был распахан участок степи и заложена плантация географических культур 5-ти и 3- летних саженцев двух видов сосен (*Pinus sibirica* Du Tour (кедр, К) и *Pinus sylvestris* Ledeb (сосна, С)) и различных их климатипов (КМ – *P. sibirica* «Монгольский», КБ – *P. sibirica* «Байкальский»; СУ – *P. sylvestris* "Усть-кут", СБ – *P. sylvestris* "Богучаны", СП – *P. sylvestris* "Пудож". Образцы почвы для микробиологических и биохимических анализов отбирали из зоны ризосферы саженцев (5 – 10 см) с 2017 по 2020 гг.

В образцах почвы всех исследуемых участков определяли следующие показатели: pH, влажность и температуру почвы, общую численность микроорганизмов (ОЧМ), соотношение эколого-трофических групп микроорганизмов (ЭТГМ), микробную биомассу (МБ), базальное дыхание (БД), удельное микробное дыхание (qCO2), согласно (Методы …, 1991; Ананьева, 2003; Практикум …, 2005; Anderson, Domsch, 1978; Sparling et al., 1995.).

Для оценки и прогнозирования скорости восстановления почвенного плодородия после пожара в течение нескольких лет проводили ежегодный мониторинг состояния микробных сообществ в лесных насаждениях участков «Гари». На участках с географическими культурами в ризосфере саженцев кедра и сосны определяли скорость восстановления почвенных микробных сообществ после агротехнического воздействия, регистрировали этапы формирования специфических микробных сообществ, характерных для конкретных видов и климатипов растений.

Результаты исследований. Участки «Гари». Анализ почвы под нарушенными пожарами посадками лесных насаждений в течение 3 лет исследований показал, что на эколого-физиологическое состояние почвенных микробиомов оказывали влияние влажность, pH и температура почвы. Так, из-за низкой влажности почвы в засушливом 2019 г. отмечено снижение общей численности микроорганизмов (ОЧМ) в среднем на 18% по сравнению с 2018 г. и на 13% – с 2020 г. На исследуемых участках (опытных и контрольных) преимущественно доминировали актиномицеты (р. Streptomyces), типичные представители степных ландшафтов, доля которых от общего количества бактерий в 2018 г. составляла 51.2% (ПЛР), в 2020 – 72.8% (ГСР), содоминантами выступали неспоровые бактерии – до 46.9% (ГСР) в 2019 г. Споровые бактерии р. *Bacillus* также регулярно обнаруживались в почвенных образцах, их доля в разные годы составляла от 11.7 до 37.2% общей численности. Самой малочисленной группой были микроскопические грибы, среди которых наиболее часто встречались зигомицетовые (Zygomycota MOREAU) из рода *Mortierella* Coem, предпочитающие некислые почвы, являющиеся классическими сапротрофами, активно участвующие в разложении органического вещества. Их доля в некоторых случаях достигала 80% от суммарной численности выявленных грибов. Также встречались грибы родов *Penicillium* Link., *Mucor* Fresen, *Cladosporium* Link, *Acremonium* Link., *Trichoderma* Pers. На протяжении исследований в почве под посадками доминировали представители олиготрофно-копиотрофного комплекса. Однако в 2020 г. на участках с погибшей лиственницей (ГЛР, ГЛМ) отмечали увеличение содержания гидролитиков до 37% по сравнению с 2018 г. за счет увеличения численности споровых бактерий. Содержание микробной биомассы (МБ) менялось в зависимости от породы древостоя по годам и месяцам вегетации (май-сентябрь). В течение наблюдений максимальные значения МБ

отмечены в пожарищах лиственницы (ПЛМ – 1385 и ПЛР – 1018 мкг С / г почвы) и вязов (ПВМ – 1298 и ПВР – 1226 мкг С / г почвы). Удельное микробное дыхание микроорганизмов в 2018 и 2020 гг. находилось в пределах эколого-физиологической нормы (qCO2 – 5.6 -6.0 мкг С-СО2 / мг С /ч), в то время как в 2019 г при более низких значениях МБ наблюдали повышенное базальное и удельное дыхание (qCO2 – 14.7 мкг С-СО2 / мг С /ч), что свидетельствовало о стрессе микробоценозов, вызванных низкой влажностью. Высокие коэффициенты корреляции в 2018 г между влажностью и МБ (r= 0.7), в 2019 г. – между влажностью и МБ и БД (r= 0.5 и 0.5) подтверждают наше предположение.

Таким образом, численность основных групп почвенных микробных сообществ (ОЧМ), содержание биомассы и интенсивность дыхания микроорганизмов (МБ и БД) на участках «Гари» изменялись в большей степени в зависимости от влажности почвы, в меньшей – от температуры и pH. На восстановившихся пожарищах отмечены бóльшие значения общей микробной численности (ОМЧ) и биомассы (МБ). На пожарищах вяза и лиственницы наибольшие значения ОЧМ зарегистрированы в ризосфере, а МБ – между рядами посадок. В целом за 3 года исследований изменилось соотношение ЭТГМ в сторону увеличения гидролитико-копиотрофных групп, и уменьшение олиготрофов, о чем свидетельствует снижение их численности в 2.2 и увеличение гидролитиков в 1.2 раза.

Участки «Географические культуры». Известно, что растения в процессе развития (как филлосфера, так и ризоплана), выделяют в окружающую среду продукты вторичного метаболизма, многие из которых обладают фитонцидными свойствами. При этом наблюдается видоспецифичность этих выделений, что приводит к формированию микробного сообщества, характерного для конкретного вида растения при равных других гидротермических факторах (Рощина, 2009).

Исследования 2017-2020 гг. показали, что под посадками географических культур *Pinus* sp. проявились первые признаки изменения нативного почвенного микробоценоза. Под климатипами *Pinus sibirica* за весь период исследований отмечена более низкая общая численность микроорганизмов, чем в контроле и под климатипами *Pinus sylvestris*. По-видимому, корневые выделения кедра формируют более специфические микробоценозы, чем сосна. Отмечены тенденции изменения микробного сообщества в сторону формирования специфических для видов хвойных микробиомов, обусловленных особенностями качественного состава экзометаболитов корневой системы. В ризосферной почве климатипов *Pinus* sp. в течение 4-х лет выявляли представителей микробного сообщества, оказывающих влияние на рост саженцев. В основном это неспоровые (рр. *Pseudomonas*, *Xanthomonas*) и споровые бактерии (рр. *Actinobacteria* и *Bacillus*). Самой малочисленной группой были грибы, преимущественно микромицеты, среди которых доминировали представители рода *Mortierella* Coem (до 60% от всех выявленных грибов). Отмечено снижение микромицетов из р. *Penicillium* (на 10-15%).

Динамика микробной биомассы (МБ) в первый вегетационный период во всех вариантах опыта и в контроле развивалась однотипно. На второй, третий и четвертый годы посадки под саженцами заметно проявлялось влияние корневых выделений на содержание МБ. В период 2018-2019 гг. корневые выделения кедра и сосны формируют большие, по сравнению с контролем, значения МБ, причем под кедром значения МБ выше (в среднем в 1.3 раза), чем под сосной. В 2020 г. общее содержание МБ под климатипами снизилась в 1.2 раза по сравнению с 2017 и 2019 гг., предполагаем, что это связано с формированием специфических для видов ризосферных сообществ. Наибольшие значения МБ отмечены под климатипами кедра КБ и сосны СБ – 785 и 803 мкг С / г почвы, соответственно. Интенсивность микробного дыхания (БД и qCO2) снизилась, приблизившись к эко-физиологической норме. На содержание МБ, БД и qCO2 оказывали влияние влажность,

температура и pH почвы. Высокие коэффициенты корреляции отмечены между влажностью и МБ (r=0.64) и qCO2 (r=-0.74), а также между pH и БД (r=0.82) и qCO2 (r=0.74).

Показано, что под саженцами географических культур *Pinus* sp. формируются специфические ризосферные микробные сообщества, обусловленные влиянием не только абиотических факторов, но и корневых выделений, о чем свидетельствуют значения общей микробной численности, микробной биомассы и перегруппировка эколого-трофической структуры микробных сообществ под климатипами.

Таким образом, адекватными универсальными микробиологическими индикаторами для диагностики и мониторинга состояния почвы сухой озерно-котловинной Ширинской степи в исследуемых фитоценозах являлись: соотношение эколого-трофических групп микроорганизмов (ЭТГМ), содержание микробной биомассы (МБ), коэффициент удельного микробного дыхания (qCO2). Специфическими индикаторами являлись: для участков «Гари» – увеличение доли популяций споровых бактерий из родов *Bacillus* и *Streptomyces*; для участков «Географические культуры» – увеличение доли популяции ризосферных грибов из родов *Mortierella* и *Mucor*, и снижение доли грибов из рода *Penicillium*.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 0287-2021-0011 «Снижение рисков возрастающего воздействия болезней и вредителей на лесные экосистемы в условиях глобальных изменений окружающей среды».

ЛИТЕРАТУРА

1. Ананьева Н.Д. Микробиологические аспекты самоочищения и устойчивости почв. М.: Наука, 2003. 222 с.
2. Звягинцев Д.Г. Почва и микроорганизмы. М.: Из-во МГУ, 1987. 256 с.
3. Классификация и диагностика почв России / Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева М.И. Герасимова. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
4. Курбатский Н.П. Терминология лесной пирологии // Вопросы лесной пирологии. Красноярск: ИЛиД СО АН СССР, 1972. С. 171–231.
5. Методы почвенной микробиологии и биохимии / Д.Г. Звягинцев. М.: Из-во МГУ, 1991. 303 с.
6. Практикум по микробиологии / А.И. Нетрусов. М.: Academia, 2005. 603 с.
7. Рощина В.В., Рощина В.Д. Выделительная функция высших растений. LAP Lambert Academic Publishing, 2012. 476 с.
8. Сорокин Н.Д. Микробиологическая диагностика лесорастительного состояния почв Средней Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. 219 с.
9. Anderson J.P.E., Domsch K.H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils // Soil Biol. Biochem. 1978. Vol. 10, № 3. P. 314–322.
10. Sparling G.T. The substrate-induced respiration method / Eds Alef K., Nannipieri P. // Methods in applied soil microbiology and biochemistry. Acad. Press, London.1995. P. 397–404.

MICROBIOLOGICAL INDICATION OF THE DRY STEPPE ZONE SOILS IN ARTIFICIAL PHYTOCENOSES AFTER FIRE AND AGROTECHNICAL INFLUENCES (REPUBLIC OF KHAKASSIA)

I.D. GRODNITSKAYA, V.A. SENASHOVA, O.E. PASHKEEVA, G.I. ANTONOV

Key words: *soil microbiomes, artificial plantings, provenance trials, anthropogenic impacts, dry lake-basin steppe, microbial indicators*

ВЛИЯНИЕ ПОЧВЕННЫХ ФАКТОРОВ НА ПОСТПИРОГЕННОЕ ВОЗОБНОВЛЕНИЕ ДРЕВЕСНЫХ ПОРОД В ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Д.А. ДАНИЛОВ, Н.В. БЕЛЯЕВА, И.М. АНИСИМОВА

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический Университет,
г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: *гранулометрический состав почв, гумус, корнеобитаемый слой почвы, постпирогенное возобновление, pH*

Объектами исследования являлись постпирогенные молодняки с различной долей участия сосны, ели и примесью лиственных пород, возобновившиеся на почвах различного гранулометрического состава в условиях бореальной зоны на юго-востоке Ленинградской области. Проведён учёт подроста и взяты почвенные образцы из корнеобитаемого слоя почвы. Агрохимический анализ на содержание органического вещества и уровня pH проводился по почвенным горизонтам мощностью 0-5 см и 5-10 см (Наквасина, 2016). В ходе исследования отмечено, что во всех постпирогенных насаждениях наблюдается статистически значимое различие по содержанию гумуса в исследуемых почвенных горизонтах, то есть в основном корнеобитающем слое для древесных растений в исследуемых молодняках. Многомерный анализ показал значимое влияние одновременного фактора мощности и гранулометрического состава почвы на показатели pH и гумуса на всех объектах с постпирогенным возобновлением древесных пород. Для выявления уровня достаточного влияния гранулометрического состава на возобновление хвойных и лиственных пород был проведен факторный дисперсионный анализ. Для количественной представленности хвойных пород выявлено достоверно значимое влияние на уровне p = 95% от гранулометрического состава почв. Для подроста березы и осины выявлено также достоверное влияние гранулометрического состава почв, но на более низком уровне p = 90%.

Проведенный анализ влияния агрохимических показателей почв – pH(KCl), содержания гумуса в органо-минеральных горизонтах на постпирогенных участках с возобновившимися породами выявил различный уровень значений корреляций с количественной представленностью подроста по породам.

Для соснового подроста количество возобновляемых деревьев после пирогенного воздействия наиболее связано с содержанием гумуса в верхнем корнеобитаемом горизонте (0-5 см). Коэффициент корреляции составляет R = 0,72, что указывает на высокую взаимосвязь с данным показателем почвенного плодородия. С содержанием гумуса в ниже лежащем горизонте почвы (5-10 см) связь количества представленности подроста сосны снижается (R = 0,51).

Для еловой части исследуемых насаждений, возобновившейся после низового пожара, наблюдаются фактически одинаковые показатели коэффициента корреляции с содержанием гумуса по исследуемым почвенным горизонтам (R = 0,43–0,44). По-видимому, на данном этапе роста сосна более активно осваивает почвенные ресурсы как пионерная порода, и ее рост зависит от степени содержания и соответственно минерализации гумуса в почве, подверженной огневому воздействию, чем ель.

Для березового возобновления влияние содержания гумуса указывает на умеренный характер этой связи (R = 0,36–0,47), о чем свидетельствует коэффициент корреляции.

Показатель реакции почвенного раствора (pH) характеризует уровень кислотности почвы и тем самым уровень доступности элементов питания для возобновления растений. На

исследованных участках можно наблюдать довольно пёструю картину варьирования показателя pH по почвенным горизонтам на участках, пройденных пирогенным воздействием. По-видимому, в результате пирогенного воздействия показатель кислотности почвы варьирует от 2,85 pH, что указывает на повышение кислотности почв до 6,04 pH. Это фактически близко к нейтральному показателю почвенной среды, что является, по-видимому, последействием зольных элементов.

Для соснового подроста выявлена более значимая связь по показателю pH для нижележащих горизонтов почвы (5–10 см), коэффициент корреляции составляет R = 0,71. Для вышележащих горизонтов этот показатель составляет R= 0,55.

Для елового подроста возобновление на обследованных пирогенных участках наблюдается такая же тенденция, как и для соснового подроста. Наибольшая взаимосвязь количества подроста наблюдается с показателями pH нижележащего горизонта R = 0,64 по сравнению с верхним горизонтом почвы (R = 0,45). Полученные связи количества подроста сосны и ели с показателем pH почвенных горизонтов носят обратный линейный характер.

Для лиственных пород количественная представленность на обследованных участках находится также в обратной линейной зависимости с уровнем показателя pH почвенных горизонтов. Как для березы, так и для осины наблюдается более высокая корреляция между количеством деревьев и показателем pH почвенных горизонтов на глубине 5 – 10 см. Для березы коэффициент корреляции составляет 0,62, для осины – 0,65. Связь с уровнем показателя pH верхнего горизонта почвы менее значимая и составляет для березы 0,48, а для осины – 0,36.

Исследовано влияние почвенных разностей на соотношение количества подроста хвойных и лиственных пород, т.е. состава формируемых молодняков. С помощью метода ранговой корреляции Спирмена для насаждений с преобладанием соснового подроста выявлены статистически значимые корреляции для сосны (Rs= – 0.696) и березы (Rs= -0.637). Связь между количеством подроста этих пород и почвенных разностей сильная и обратная, для ели и осины слабая и обратная. В насаждениях с преобладанием елового подроста статистически значимых корреляций влияния почвенных разностей на соотношение возобновившихся пород в составе насаждений было выявлено только для соснового молодого поколения (Rs= -0,525). В насаждениях с преобладанием лиственных пород статистически значимая корреляция на количественную представленность в зависимости от почвенных разностей была только для подроста сосны (Rs= 0,854) и ели (Rs= – 0,483).

Полученная корреляционная зависимость по ранговому коэффициенту Спирмена показала, что значимая представленность подроста сосны в составе сформированного постпирогенного молодняка является определенным фактором для формированного состава постпирогенных насаждений.

Для елового подроста данная связь его количественной представленности в постпирогенных насаждениях в зависимости от гранулометрического состава почв имеет менее выраженный характер и слабую связь, а часто и ее отсутствие.

Для количественной представленности березы постпирогенных насаждений значимая доля ее участия в составе выявлена только для насаждений с преобладанием сосны.

Работа выполнена в рамках проводимых исследований кафедры лесоводства СпбГЛТУ 2020-2021 гг.

ЛИТЕРАТУРА

1. Наквасина Е.Н., Любова С.В. Почвоведение: учеб. пособие. Архангельск: САФУ, 2016. 146 с.

IMPACT OF SOIL FACTORS ON POST-PYROGENIC RENEWAL OF WOODY SPECIES IN THE LENINGRAD REGION

D.A. DANILOV, N.V. BELYAEVA, I.M. ANISIMOVA

Key words: *post-pyrogenic regeneration, granulometric composition of soils, pH, humus, root layer of soil*

СЛАБОДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫЕ ДЕРНОВО-ПАЛЕВЫЕ ПОЧВЫ ЛЕСНОГО СТАЦИОНАРА ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ

Р.В. ДЕСЯТКИН[1], С.Н. ЛЕСОВАЯ[2], М.В. ОКОНЕШНИКОВА[1], А.З. ИВАНОВА[1]

[1]Институт биологических проблем Криолитозоны СО РАН, г. Якутск
[2]Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: *глинистые минералы, гумусовый горизонт, мерзлотные почвы*

Бореальные леса России являются одним из основных регуляторов баланса углерода и влаги на планете. В условиях глобальных изменений климата территории криолитозоны испытывают значительное воздействие из-за повышения температурных показателей и связанных с ними заметных трансформаций компонентов природной среды. Повышение среднегодовых температур воздуха на 3-4˚С за последние 20-30 лет в этой области привело к резкому увеличению глубины сезонного протаивания почв и деградации подземных льдов ледового комплекса. Последнее обусловливает появление криогенных форм рельефа и трансформацию почвенного покрова с изменением морфогенетических характеристик и свойств почв. Происходящие на огромной площади деградационные почвенные процессы оказывают негативное влияние на средообразующую роль бореальных лесов, снижают их способность регулировать баланс влаги, тепла и парниковых газов на планете и требуют постоянного мониторинга. Одной из главных функций почв мерзлотной области является сохранение осеннего влагозапаса, который расходуется в течение всего вегетационного периода следующего года, обеспечивая рост и формирование продуктивности лесов и лугов (Аболин, 1929). Современные исследования показали, что в зоне близкого залегания многолетней мерзлоты именно слой сезонной мерзлоты является существенным источником влаги для обеспечения роста лесов (Sugimoto et al., 2002).

На территории одной из самых континентальных и холодных зон Евразии – Центральной Якутии (ЦЯ), расположена сеть лесных стационаров международного экологического мониторинга. На стационарах проводится наблюдение за широким комплексом параметров среды и почв. Целью данной работы является выявление специфики почвообразования лесных почв, формирующихся в условиях холодного континентального климата и близкого залегания мерзлоты. Объектом нашего исследования послужили слабодифференцированные дерново-палевые почвы зоны бореальных лесов Сибири, сформированные на территории стационара «Элгээйи» в ЦЯ. Стационар расположен на левом берегу среднего течения р. Алдан в 60 км южнее пос. Усть-Мая. Абсолютная высота местности ~183 м, относительная от уровня р. Алдан составляет 27 м. Климат умеренно-теплый, слабо-засушливый, с модулем увлажнения равным 0,20–0,30 (Шашко, 1985). Леса относятся к средне-продуктивным лиственничным (бонитет III–IV) с небольшой примесью березы, ольховника и ив, основная лесообразующая порода – *Larix cajanderi*.

Широко распространенные здесь почвы в разные годы классифицировались по-разному. Традиционно используемое в Якутии название – мерзлотные таежные палевые почвы (Иванова, 1971). В соответствии с подходами (Полевой определитель …, 2008) нами было предложено выделить их в тип дерново-палевых типичных (Десяткин и др., 2011; Оконешникова и др., 2018) со следующей формулой профиля: O-AY-BPL-BCA-BCca. Координаты базового разреза, в котором помимо общих свойств был изучен минералогический состав илистой фракции, составляют 60°01'69' с.ш., 133°49'54" в.д. Почвообразующие породы представлены элювиальными карбонатными суглинками, не относящимися к лёссовидным отложениям, широко распространенным на территории

Центрально-Якутской равнины. Малольдистая мерзлота в базовом разрезе дерново-палевой почвы залегает с глубины 88 см. В илистой фракции этого разреза по всему профилю диагностирована единая ассоциация глинистых минералов: смектитовая фаза (неупорядоченное смешанослойное слюда-смектитовое образование), иллит, хлорит, каолинит, из неглинистых – кварц, полевые шпаты и в нижних горизонтах – кальцит. Среди обменных катионов в профиле преобладает кальций, доля натрия незначительна, соответственно, почва не относится к осолоделым. В профиле выражена вертикальная дифференциация значений pH, которые находятся в кислом диапазоне в верхних органогенных горизонтах, нейтральном в срединном "B" горизонте и щелочном в нижних. В нижней части профиля присутствуют карбонатные новообразования, что согласуется с количеством осадков, среднегодовая величина которых достигает и 300 мм и более.

Несмотря на различия значений pH, значительных изменений, оцененных по соотношению минеральных фаз между горизонтами в этом профиле не обнаружено. Тем не менее, отмечено, что уменьшение в верхних горизонтах доли хлорита (более устойчивого в кислой среде минерала) происходит на фоне равномерного распределения смектитовой фазы – наиболее неустойчивого компонента. Это предполагает возможность реализации более продвинутой схемы трансформаций минералов, характерной для более гумидных условий, чем можно ожидать при равномерном распределении минеральных фаз в профиле. Данный вывод согласуется с наличием гумусово-аккумулятивного горизонта, по своим диагностическим признакам соответствующего «дерновому». Дерновый горизонт характерен для кислых почв более гумидных регионов. Тип гумуса в этом профиле гуматно-фульватный в верхнем гумусовом горизонте AY (СГК/СФК 0,89) и фульватный в преобладающей минеральной части профиля. В минеральных горизонтах отношение СГК/СФК более узкое и составляет 0,33-0,55-0,40. Среди ФК выделяется наиболее агрессивная фракция ФК-1а, содержание которой по профилю в 2 и более раза выше, чем в гумусе палевых осолоделых почв ЦЯ. Степень гумификации органического вещества в гумусовом горизонте AY средняя, отличаясь от низкой в горизонте AYaoe в палевых осолоделых почвах ЦЯ. Это можно объяснить большим количеством растительных остатков, вовлекаемых в гумификацию из мощного слоя подстилки и лучшими условиями увлажнения дерново-палевой типичной почвы на станции «Элгээйи».

Таким образом, проведенные исследования показали, что, в условиях холодного континентального климата педоклиматические условия лесных экосистем, обеспечивая достаточный влагозапас, обусловливают в слабодифференцированных дерново-палевых почвах формирование признаков, характерных для почв более гумидных регионов.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (проект 20-04-00888), а также государственного задания ИБПК СО РАН по проекту V.54.1.2 (0376-2018-0003), рег. номер АААА-А17-117020110057-7.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аболин Р.И. Геоботаническое и почвенное описание Лено-Вилюйской равнины. Л.: Изд-во АН СССР, 1929. 378 с. (Тр. Комис. по изучению ЯАССР. Т. 10).
2. Десяткин Р.В., Лесовая С.Н., Оконешникова М.В., Зайцева Т.С. Палевые почвы Центральной Якутии: генетические особенности, свойства, классификация // Почвоведение, 2011. № 12. С. 1–11.
3. Иванова Е.Н. Почвы Центральной Якутии // Почвоведение. 1971. № 9. С. 3–17.
4. Оконешникова М.В., Лесовая С.Н., Десяткин Р.В. Почвы лиственничных лесов стационаров «Спасская падь» и «Элгээйи» // Природные ресурсы Арктики и Субарктики, 2018. № 3. С. 84–92.

5. Полевой определитель почв. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
6. Шашко Д.И. Агроклиматические ресурсы СССР. Л.: Гидрометеоиздат, 1985. 247 с.
7. Sugimoto A., Yanagisawa N., Naito D., Fujita N., Maximov T.C. Importance of permafrost as a source of water for plants in East Siberian taiga // Ecol. Res. 2002. V. 17(4). P. 493–503.

WEAKLY DIFFERENTIATED PALE SOILS (CRYOSOLS) FROM THE AREA OF THE INTERNATIONAL FOREST ECOLOGICAL MONITORING NETWORK STATION IN THE CENTRAL YAKUTIA PLAIN

R.V. DESYATKIN, S.N. LESSOVAIA, M.V. OKONESHNIKOVA, A.Z. IVANOVA

Key words: *permafrost affected soil, clay minerals, humus horizon*

ТЕХНОЛОГИЯ ЛЕСОРАЗВЕДЕНИЯ ДЛЯ ЗАЩИТНОЙ ФУНКЦИИ ЛЕСНЫХ ПОЧВ АРИДНОЙ ЗОНЫ ОТ ЭРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

Г.Т.ДЖАЛИЛОВА[1], Г.Л. АКРАМОВНА[1], Е.К. БОТМАН[2]

[1]Национальный Университет Узбекистана имени Мирзо Улугбек, г. Ташкент
[2]НИИ Лесного хозяйства, г. Ташкент

Ключевые слова: *древесные породы, лесомелиорация, лесоразведение, почва, почвозащита, смыв, эрозия*

Технология лесоразведения для защитной функции лесных почв аридной зоны от эрозионных процессов

Лесомелиоративные мероприятия в горных районах Узбекистана имеют решающее противоэрозионное значение в средневысотных горах, где имеются условия для лесоразведения. Выращивание продуктивных и устойчивых лесонасаждений, эффективно выполняющих защитные функции лесных почв от эрозионных процессов, в первую очередь, связано с подбором и смешением древесных пород и кустарников. Породы должны соответствовать тому типу условий произрастания, который оптимален для их роста. Главными определяющими факторами для успешного роста являются условия увлажнения и температура воздуха, но если температурный фактор в условиях среднегорий благоприятный для подавляющего большинства рекомендуемых для лесных культур пород, то по отношению к почвенной влаге они сильно различаются.

По условиям почвенного увлажнения нижне- и среднегорные пояса Республики Узбекистан принято делить на: 1 – очень сухие местообитания, когда почвы влажные только ранней весной и очень сухие весь вегетационный период; 2 – сухие условия, почвы влажные весь весенний период и сухие – весь остальной; 3 – свежие условия местообитания, когда почвы влажные до середины лета и сухие весь остальной период до конца вегетации; 4 – влажные местообитания с почвами, имеющими достаточно влаги для роста древесных пород весь вегетационный период, или с короткой засухой (Gafurova, 2020).

Свежие и влажные условия благоприятны для выращивания почти всех применяемых в лесоразведении республики древесных пород. Здесь ограничивающим фактором являются только низкие зимние температуры, вызывающие обмерзание побегов или плодовых элементов. Из-за того, что условия почвенного увлажнения зависят не только от количества атмосферных осадков, но и от экспозиции, крутизны, степени каменистости и эродированности склонов, мощности мелкоземистого чехла и др., практически невозможно выделить по этому признаку высотные границы каждого типа условий (Ханазаров и др., 2008).

По условиям произрастания рекомендуется следующий примерный список пород деревьев и кустарников: для очень сухих условий – фисташка, парнолистник, курчавка, эфедра, миндаль колючий, унаби, тамарикс, шиповник. Для сухих условий рекомендуется фисташка, миндаль бухарский, миндаль колючий, унаби, вяз приземистый, груша Регеля, багряник, пузырник, сумах, скумпия, абрикос, клен Семенова, вишня, кустарниковые. Для свежих условий местообитания: в поясе лиственных естественных лесов рекомендуются из хвойных пород сосна крымская и сосна обыкновенная, можжевельник виргинский; из лиственных пород, кроме пород, указанных для второго типа условий, айлант, акация белая и желтая, боярышники, гледичия, дуб черешчатый, каркас, клены туркестанский и американский, маклюра, орех черный, уксусное дерево, ясень пенсильванский, яблоня дикая, магалебка, алыча, вишня, лох восточный и узколистный, груша обыкновенная, бузина

черная, барбарис, жимолость, магония, шиповник, вишня бородавчатая, крушина, ирга, жимолости, в поясе хвойных лесов – арча зеравшанская, полушаровидная и туркестанская, сосны крымская и обыкновенная, жимолости, барбарисы, шиповники, эфедра, дикая яблоня, клен туркестанский, рябина. Для влажных условий местообитания, площади которых в республике незначительны и соответствуют условиям с осадками более 800 мм на склонах северных экспозиций с несмытыми или слабосмытыми мощными почвами рекомендуется кроме перечисленного выше ассортимента пород, орех грецкий, тополи белый и черный, платан восточный. Для облесения речных пойм, берегов водотоков и прудков заилений рекомендуются ивы древовидные и кустарниковые, тополь черный, лох восточный, облепиха, ясен согдийский. Для облесения оврагов рекомендуется применять на откосах корнеотпрысковые породы, такие как айлант, акация белая, лох восточный, аморфа, вишня и др., а по дну – те же породы, что и для прудков заиления. Для облесения свежих оползней, дающих очень большой твердый сток, создающий селевые потоки, рекомендуется высаживать по площадкам лох восточный, ясень согдийский, унаби. Для создания богарных садов используются пологие и покатые склоны северных экспозиций с мощными несмытыми или слабосмытыми почвами, мелкоземистыми или слабокаменистыми в 3 и 4 типах условий местообитания, со следующими ассортиментом плодовых пород: яблоня, груша, черешня, вишня, слива, абрикос, миндаль обыкновенный, персик (Ханазаров и др., 2007).

Защитные насаждения на склонах рекомендуется создавать смешанными, так как они наиболее продуктивны, устойчивы и обладают наилучшими защитными свойствами. При смешении пород следует исходить из того, что они оказывают друг на друга или положительное влияние, помогают лучше и дольше расти и развиваться, или отрицательное.

Исследование выполнено в рамках гранта Министерство сельского хозяйства Республики Узбекистан и НИИ Лесного хозяйства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ханазаров А.А., Гафурова Л.А., Махсудов Х.М., Бутков Е.А., Ботман Е.К., Джалилова Г.Т. Эродированные почвы Западных отрогов Чаткальского хребта, повышение их плодородия и защита от эрозии. Патент-Пресс. Ташкент, 2007. 103 с.
2. Ханазаров А.А., Гафурова Л.А., Махсудов Х.М., Бутков Е.А., Ботман Е.К., Джалилова Г.Т. Рекомендации по внедрению системы лесомелиоративных мероприятий, обеспечивающих защиту почв от эрозии и селевых потоков в горно-лесной и богарной зонах. Патент-Пресс. Ташкент, 2008. 30 с.
3. Gafurova L.A., Djalilova G.T., Ergasheva O.X., Kadirova D.A. Measures on erosion-preventive forest melioration in mountain areas of Uzbekistan // Journal of Critical Reviews ISSN- 2394-5125 V. 7, Issue 2, 2020. P. 283–287

AFFORESTATION TECHNOLOGY FOR THE PROTECTIVE FUNCTION OF FOREST SOILS OF THE ARID ZONE FROM EROSION PROCESSES

G.T. DJALILOVA, L.A. GAFUROVA, E.K. BOTMAN

Key words: *afforestation, erosion, soil, washout, forest reclamation, tree species, soil protection*

ДИАГНОСТИКА ПИРОГЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПОЧВ

А.А. ДЫМОВ, В.В СТАРЦЕВ, Н.М. ГОРБАЧ, Д.Н. ГАБОВ

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар

Ключевые слова: *РуС, БПКК, ПАУ, пожары, торфяные почвы*

В настоящее время углерод пирогенно измененных органических соединений (РуС) рассматривается как один из наиболее стабильных и устойчивых к микробиологическому разложению пулов почвенного органического вещества (ПОВ). Считается, что РуС может сохраняться в почвах до нескольких тысяч лет (Kuzyakov et al., 2014). Благодаря этому во многих современных работах РуС рассматривается как важный пул по секвестрированию углерода из атмосферы. Во многих работах именно с ним связаны «перспективы» по сглаживанию влияния растущей концентрации углекислого газа в атмосфере. Несмотря на общепризнанную важность РуС в экосистемах, в настоящее время нет единого подхода к его определению в почвах (Hammes et al. 2007; Dymov et al., 2021).

Цель данной работы – оценка возможностей применения различных современных методов для определения содержания соединений углерода пирогенно модифицированных органических соединений на примере торфяной почвы.

В качестве критериев оценки были выбраны широко используемые методы определения полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), бензолполикарбоновых кислот (БПКК) и 13С спектроскопия ядерного магнитного резонанса (ЯМР). Сравнение проводили на примере анализа образцов торфяно-олиготрофной почвы, развивающейся под сосняком багульниково-сфагновым (Горбач и др., 2021).

Полученные данные позволяют сделать вывод, что рассматриваемые подходы позволяют диагностировать пирогенные признаки в составе ПОВ. При этом многие показатели имеют хорошую корреляцию между собой. Суммарное содержание БПКК кислот имеет значимые коэффициенты корреляций с концентрацией нафталина ($R = 0.98$, $p < 0.05$), фенантрена ($R = 0.78$, $p < 0.05$), флуореантена ($R = 0.86$, $p < 0.05$), ароматических фрагментов (CAr-H(C)), определяемых методом ЯМР спектроскопии ($R = 0.88$, $p < 0.05$). При этом суммарное содержание ПАУ коррелирует лишь с общим содержанием углерода в образце. Значимые корреляции с высоким коэффициентом выявлены для индивидуальных БПКК и ряда ПАУ. Для всех индивидуальных БПКК, за исключением тримезиновой кислоты, коэффициенты корреляции с нафталином составляют (от 0.96 до 0.98, $p < 0.05$), с фенантреном (от 0.75 до 0.78, $p < 0.05$), флуорантеном (0.82–0.86, $p < 0.05$), хризеном (0.73–0.74, $p < 0.05$).

Таким образом, на основании проведенных работ, можно констатировать, что эти методы позволяют диагностировать поступление пирогенно модифицированных органических соединений. В составе молекулярных фрагментов ПОВ с пирогенными признаками существенно увеличивается доля углерода, связанного с бензольными ядрами. В составе ПАУ горизонтов увеличивается концентрация нафталина, флуорантена, фенантрена и хризена, которые, вероятно, имеют пирогенную природу. Но при этом увеличение содержания молекулярных ароматических фрагментов и ряда индивидуальных ПАУ можно использовать лишь в качестве маркеров влияния пирогенеза. Данные параметры могут свидетельствовать лишь об общем тренде возрастания «ароматичности» ПОВ. Общие запасы ПАУ крайне малы, их концентрации лишь частично характеризуют общие содержания и запасы РуС в почвах. Более реалистичную картину по концентрациям и запасам РуС в почвах позволяет выявить метод определения БПКК. Благодаря жесткому

кислотному гидролизу из почвы извлекается большее количество ароматических соединений, которое более полно отражает концентрации PyC.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РФФИ № 19-29-05111 мк и гранта академических обменов DAAD проект № 91760908.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горбач Н.М., Кутявин И.Н., Старцев В.В., Дымов А.А. Динамика пожаров на Северо-Востоке европейской части России в голоцене // Теоретическая и прикладная экология. № 3. С. 51–58.
2. Dymov A.A., Startsev V.V., MilanovskyE.Yu., Valdes-Korovkin I.A., Farkhodov Yu.R., Yudina A.V., Donnerhack O., Guggenberger G. Soils and soil organic matter transformations during the two years after a low-intensity surface fire (Subpolar Ural, Russia) // Geoderma. 2021. V. 404. P. 115278.
3. Hammes K., Schmidt M.W.I., Smernik R.J. et al. Comparison of quantification methods to measure fire-derived (black/elemental) carbon in soils and sediments using reference materials from soil, water, sediment and the atmosphere // Global Biogeochem. Cycles. 2007. V. 21. Art. GB3016. DOI: 10.1029/2006GB002914
4. Kuzyakov Y., Bogomolova I., Glaser B. Biochar stability in soil: Decomposition during eight years and transformation as assessed by compound specific 14C analysis // Soil Biol. 2014. V. 70. P. 229–236.

DIAGNOSTICS OF PYROGENIC CHANGES IN SOIL ORGANIC MATTER

A.A. DYMOV, V.V. STARTSEV, N.M. GORBACH, D.N. GABOV

Key words: *fire, PyC, peat soils, BPCAs, PAH*

ПРОБЛЕМА ОЦЕНКИ БИОМАССЫ ДОЖДЕВЫХ ЧЕРВЕЙ ПРИ ФИКСАЦИИ И ХРАНЕНИИ

С.А. ЕРМОЛОВ

[1]Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов Российской академии наук, г. Москва

Ключевые слова: *биомасса, дождевые черви, жидкости-фиксаторы, жизненные формы, переводные коэффициенты, потери массы, содержание кишечника*

Дождевые черви являются одними из основных функционально-значимых обитателей наземных экосистем. Исследования дождевых червей являются неотъемлемой частью зоологической диагностики и экологии почв. При оценке популяций дождевых червей принято учитывать их видовое и функциональное разнообразие и плотность населения. Также во многих исследованиях проводится оценка их биомассы (Гераськина, 2009).

В настоящее время не существует единогласно принятого метода оценки биомассы дождевых червей. Согласно одним подходам, нужно взвешивать исключительно живых червей, другим — свежеумерщвленных, третьим — зафиксированных (Гераськина, 2009). При этом влияние определенной жидкости-фиксатора на потери массы дождевых червей хоть и было изучено в ряде работ, но не учитывалось в дальнейших исследованиях. Имеются разногласия и насчет содержания кишечника дождевых червей: должен ли он быть вычищен перед взвешиванием или допустимо его заполнение (Мазенцева, 1975; Martin, 1986).

Цель данной работы — предложить оптимальную методику оценки биомассы дождевых червей. Для проведения эксперимента были составлены выборки дождевых червей, относящихся к разным жизненным формам: подстилочные — *Dendrobaena octaedra* вместе с *Dendrodrilus rubidus* ssp (валежник); почвенно-подстилочные — *Eisenia fetida* (компост), *Lumbricus rubellus* (почва); собственно-почвенные — *Octolasion lacteum* (почва). Вид *O. lacteum* представлен в эксперименте тремя размерными формами, отличающимися по условиям обитания (Шеховцов и др., 2020). Сбор червей проводился в Новосибирской области. Для каждого вида было составлено 4 выборки по 12 особей, с учетом заполнения кишечника (заполнен либо вычищен) и жидкости фиксатора (этиловый спирт 96 %, либо раствор формальдегида 4 %). Взвешивание червей осуществлялось в несколько этапов: живой червь, свежеумерщвленный, 3 дня после фиксации, 1 неделя, 2 недели, 1 месяц, 2 месяца, 3 месяца, 6 месяцев после фиксации.

В ходе работы прослежена динамика изменения массы дождевых червей разных видов и жизненных форм при фиксации и хранении, отмечены значительные и незначительные этапы потери массы. Показаны сходства и различия в действии разных фиксаторов, а также отмечено влияние заполненного и вычищенного кишечника на изменение массы у разных жизненных форм дождевых червей. Получены некоторые переводные коэффициенты для расчета биомассы дождевых червей, которые могут быть использованы в экологических исследованиях.

Финансирование: проект РФФИ 19-04-00609 А.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гераськина А.П. Население дождевых червей (Lumbricidae) на зарастающих полях // Зоологический журнал. 2009. Т. 88. № 8. С. 901–906.
2. Мазанцева Г.П. Изменение массы дождевых червей (Oligochaeta, Lumbricidae) при хранении фиксированного материала // Проблемы почвенной зоологии: Матер. V Всесоюз. совещ. Вильнюс: АН Литовской ССР. 1975. С. 218–219.

3. Шеховцов С.В., Ермолов С.А., Держинский Е.А., Полубоярова Т.В., Ларичева М.С., Пельтек С.Е. Генетическая и размерная изменчивость Octolasion tyrtaeum (Lumbricidae, Annelida) // Письма в Вавиловский журнал генетики и селекции. 2020. 6(1). С. 5–9.
4. Martin N.A. Earthworm biomass: influence of gut content and formaldehyde preservation on live-to-dry wight rations of three common species of pasture Lumbricidae. // Soil Biology and Biochemistry. 1986. Vol. 18. No. 3. 245–250.

THE PROBLEM OF ESTIMATING EARTHWORM BIOMASS DURING FIXATION AND STORAGE

S.A. ERMOLOV

Key words: *earthworms, biomass, living forms, fixing fluids, gut contents, weight loss, conversion coefficients*

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АНТРОПОГЕННО ПРЕОБРАЗОВАННЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ КУБАНИ

Н.В. ЕЛИСЕЕВА[1], Л.Л. НОВЫХ[2]

[1]Академия маркетинга и социально-информационных технологий, г. Краснодар
[2]Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород

Ключевые слова: *водопрочность агрегатов, лесные почвы, структура почвы, физические свойства, функции почвы*

Лесные экоценозы очень трудно сравнивать с агроэкоценозами. В большинстве случаев агроэкоценозы созданы из лесных массивов очень давно и при длительной эксплуатации человеком, полностью изменены свойства экосистема, начиная от живых организмов, питательного режима и заканчивая водно-физическими свойствами почв. Агроэкосистема устойчива будет только при поддержке человеком, стоит оставить поле не обработанным в течение нескольких лет, будет ярко проявляться сукцессия – смена сельскохозяйственных растений на лесные (Нгуен Тхи Тху Хыонг, 2019).

Обычно по урожаю оценивают агроэкосистемы, но эта оценка не сравнима с продуктивностью лесных экосистем. По данным исследователей в центральной России черноземы и серые лесные почвы дают урожай пшеницы от 20-40 ц/га, а картофеля до 120 ц/га. В предгорной части Краснодарского края на слитых черноземах, серых и темно серых лесных слитых почвах обычно выращивают кукурузу, табак и овощные культуры. Функции почвы проявляются по-разному в разных почвенно-климатических зонах и разной агротехнике. Естественные условия разных экосистем способствуют устойчивому их развитию (Карпачевский, 2005). Почвы Западного Предкавказья отличаются тяжелым гранулометрическим составом и наличием слитого горизонта. Но в естественных дубовых лесах слитой горизонт залегает достаточно глубоко с 60 см, а в агроценозах слитость проявляется практически с поверхности. Если сравнивать с серыми и темно-серыми лесными почвами центральной России, то следует отметить что в центральной России лесорастительные свойства значительно лучше, чем на Западном Предкавказье. Тяжелый гранулометрический состав слитых почв ограничивает растения в аэрации, ухудшается питательный режим и уменьшается количество доступной влаги.

После сплошных рубок для лесовосстановления применяются различные агротехнические приемы подготовки почв. Изучая водно-физические свойства почв на вырубках столкнулись с тем, что признаки слитости начинают проявляться не с 60 см, а с 10-20 см. Раскорчевка, планировка приводит к изменению практически всех свойств почвы. При снеготаянии и обильных осадках очень быстро стекают по склонам, нарушен гидрологический режим, грунтовый воды перестали играть ведущую роль в питании горных рек и ручьев. Поверхностные потоки смывают верхний слой – поверхностная эрозия.

Природа и в частности почва, очень чутко реагирует на вмешательство человека. Созданные человеком агроценозы устойчивы только тогда, когда они поддерживаются человеком. Количество питательных элементов NPK в агроценозе поддерживает человек. В лесу все почвенные режимы в естественном состоянии. Многолетние исследования лесных и агро-экосистем, разных ландшафтов дает возможность на основании анализа результатов сделать обобщение. Изучение данной проблемы проводилось одновременно в нескольких направлениях. Начнем с физических свойств:

– лесные почвы, переведенные в агроценоз, претерпели изменение водного режима;
– происходит переуплотнение почв;

– слитость почв наблюдается с поверхности, а это приводит к глубокой до 1,5 м трещиноватости с шириной трещин до10 см;
– трещины разрывают корневую систему растений, что приводит к их гибели и снижению урожая;
– структура почвы является одним из основных показателей, определяющих урожай, поскольку обеспечивает водно-воздушный режим.

Проведенный анализ водопрочности структуры чернозема слитого выщелоченного тяжелосуглинистого показал, что СВДв (средневзвешенный диаметр водопрочных агрегатов от 1,2 мм в горизонтах Ар и А до 1,0 мм в нижней части профиля (горизонты ВС и С). Варьирование показателей незначительное – 10 %. Анализ показывает, что распределение СВД (средневзвешенный диаметр агрегатов) в слитом черноземе близко к прогрессивно – элювиальному типу, а распределение СВДв соответствует недифференцированному типу. Аналогично распределению СВД (прогрессивно-элювиальный тип) наблюдается профильное распределение коэффициента уязвимости структуры. В горизонте Ар изменение показателя происходит от 6,3, а в горизонте ВС до 8,8, в среднем 7,6 при небольшом варьировании (13 %) (Елисеева, Новых и др., 2019). Из полученных данных можно утверждать, что почвенный профиль и почвообразующая обладают повышенной угрозой разрушения водой почвенной структуры. Считаем, что необходимы дополнительные исследования для разработки количественных критериев оценки параметра Ку (коэффициента уязвимости структуры).

Почвы Западного Предкавказья в агроценозах и под лесом тяжелого гранулометрического состава, со сложными физическими свойствами нужно использовать очень осторожно, чтобы не привести их к полной деградации. В агроценозах очень малое количество органики поступает в почву после сбора урожая, а в лесу остается весь опад, который остается в почве. В Курской, Белгородской и Воронежских областях под полувековыми лесополосами запасы органического углерода в 30 см слое одинаковые с первоначальными показателями к моменту их закладки. В пахотных почвах за тот же период агрогенные потери органического углерода 0,6 см/10 лет (Чендев и др., 2012). Антропогенно преобразованные лесные почвы менее устойчивы чем естественные лесные. Плодородие почвы, ее сохранность, рекультивация деградированных площадей – основная цель устойчивого развития.

ЛИТЕРАТУРА

1. Елисеева Н.В., Новых Л.Л., Волошенко И.В., Слюсаренко Э.Е. Педоэкологические особенности слитых черноземов: уязвимость структуры. //В сборн.: Проблемы природопользования и экологическая ситуация в Европейской России и на сопредельных территориях. Материалы VIII Международной научной конференции. Под редакцией М.А. Польшиной. 2019. С. 214–218.
2. Карпачевский Л.О. Экологическое почвоведение. М.: ГЕОС, 2005. 336 с.
3. Нгуен Тхи Тху Хыонг Особенности восстановительных сукцессий на землях, вышедших из-под сельскохозяйственного пользования (на примере национального парка Кук Фыонг, Вьетнам): дисс. на соиск. уч. степ. кандид. с-х наук. С-Пб, 2019. 153 с.
4. Чендев Ю.Г., Петин А.Н., Новых Л.Л., Заздравных Е.А., Соэр Т.Д., Холл Р.Б. Тенденции и закономерности антропогенной эволюции черноземов в агролесомелиоративных ландшафтах на территории лесостепи центра восточной Европы // Проблемы региональной экологии. 2012. № 2. С. 7–13.

ECOLOGICAL FEATURES OF ANTHROPOGENICALLY TRANSFORMED FOREST SOILS OF KUBAN

N.V. ELISEEVA , L.L. NOVYKH

Key words: *water resistance of units, forest soils, soil structure, physical properties, soil functions*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛЕСНЫХ ПОЧВ ЗАПАДНОГО ПРЕДКАВКАЗЬЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ

Н.В. ЕЛИСЕЕВА[1], Э.Е. СЛЮСАРЕНКО[2]

[1]Академия маркетинга и социально-информационных технологий – ИМСИТ, г. Краснодар
[2]Филиал Адыгейского государственного университета, г. Белореченск

Ключевые слова: *верховодка, лесные почвы, лесовосстановление, мониторинг влажности, плотность почвы, трещиноватость, экология*

Краснодарский край отличается разнообразием почв, климата, растительности и экологическими последствиями антропогенного воздействия на окружающую среду. Река Кубань делит край на правобережье (степная зона) и левобережье (лесостепь, переходящая в лес). Почвы степной зоны стали изучать раньше, чем лесные почвы. Но это не значит, что к лесным почвам меньший интерес. Чтобы понять современное экологическое состояние лесных почв необходимо проанализировать их использование в разные периоды. Актуальность исследований связана с комплексным изучением опыта ученых разных лет и современным ведением хозяйства. Изучением лесостепных и лесных почв предгорий Кубани авторы начали заниматься с 1975 года и по настоящее время. Историко-системный подход дает возможность рассматривать почву как некое тело, обладающее плодородием и дающее экономическое благо. Исследование основано на принципах междисциплинарного подхода изучения всех свойств лесных почв, аналитический метод – дает возможность новым подходам к оценки почвенных ресурсов (Елисеева, Степанова, 2014).

Изучение почв Западного Предкавказья связаны с именем С.А. Яковлева по линии строительства железной дороги Армавир–Туапсе (Яковлев, 1914). Он определил, что в предгорье узкой полосой простираются слитые почвы черноземного облика, на которые с гор, спустился лес. В дальнейших исследованиях В.П. Тыртышный высказывал противоположное мнение, от считал, что лес, наоборот, способствует уменьшению слитости (Тыртышный,1936). В.В. Докучаев побывал с экспедицией на Северном Кавказе в 1877 г. и установил вертикальную зональность почв (Докучаев, 1877).

В 19 веке началась активная миграция населения России на Кубань. Расширялись посевные площади в результате раскорчёвки леса и переводе их в агроценоз. В СССР уделялось большое внимание лесу и почвам. Все лесхозы занимались не только лесозаготовками, но проводили рубки ухода, изучали водный, питательный режимы, проводили лесовосстановление. С распадом СССР было упразднено министерство лесного хозяйства и в регионах стали в основном заниматься лесозаготовками. Это привело ко многим необратимым последствиям.

В начале 70-х годов прошлого века в г. Белореченске был создан научно-производственный селекционный лесхоз, в задачи которого входило создание промышленных плантаций ореха грецкого. При этом не учли, что почвы в основном были слитыми и не пригодными для ореха грецкого. Ежегодно раскорчевывали 100-200 га леса, а на их месте создавали плантации. (Елисеева, 1983). Слитые черноземы, темно-серые лесные и серые лесные почвы имеют много общего, но в тоже время значительно различаются. Если рассматривать запасы питательных веществ, то можно с уверенностью сказать, что у них высокое потенциальное плодородие, но доступность питательных веществ затруднена. В своей работе Карпачевский Л.О. отмечал экологическую роль слитых почв (Карпачевский, 2005). Из-за высокой плотности и тяжелого гранулометрического состава питательные вещества не могут потреблять

растения в полном объеме. Трещиноватость этих почв доходит до глубины 1,5 м, а шириной иногда более 10 см, происходит разрыв корневой системы. Получается, что основным препятствием являются водно-физические свойства.

Мониторинг влажности, который проводился на разных участках и в течение трех лет дал очень интересные результаты. Исследования проводили на плантациях ореха грецкого, которые создавались на раскорчеванных участках, в лесу и на участке под паром. На раскорчеванных участках плотность с поверхности 1,40 г/см^3, а в лесу 1,35 г/см^3, по профилю плотность постепенно увеличивается, на плантациях и на пару наблюдается после осадков верховодка, а под лесом может быть верховодка только в понижениях. Трещины в период переувлажнения заплывают, набухают и наблюдается восстановительный режим. Из-за высокой плотности малый объем почвы осваивается растениями, доступной влаги мало, а значит ограничен питательный режим. Использование лесных почв Западного Предкавказья приводит негативным экологическим последствиям, поэтому необходимо активно заниматься лесовосстановлением тех участков, которые оказались заброшенными.

Авторы выражают глубокую благодарность и память научным руководителям Карпачевскому Л.О. и Валькову В.Ф.

ЛИТЕРАТУРА

1. Докучаев В.В. Предварительный отчет по исследованию почв юго-западной части черноземной полосы России. 1877. 112 с.
2. Елисеева Н.В. Физические свойства и режим влажности слитых черноземов Западного Предкавказья // Почвоведение. 1983. № 4. С. 56–63.
3. Елисеева Н.В. Экология и рациональное использование почв Адыгеи: дисс. на соиск. уч. степ. д. географ. наук. Майкоп, 2000. 307с.
4. Елисеева Н.В., Степанова Л.Г. Исторические изменения крестьянских представлений о качестве почвы и становление современных подходов к изучению почвенных ресурсов России // Известия Сочинского государственного университета. 2014. № 4-2 (33). С. 104–109.
5. Карпачевский Л.О. Экологическое почвоведение. М.: ГЕОС, 2005. 336 с.
6. Чехович Э.Е., Елисеева Н.В. Слитые почвы и особенности их использования (на примере Белореченского района) // В сборнике: YI съезд Общества почвоведов. Материалы докладов YI съезда Общества почвоведов, 2012. С. 461–462.
7. Яковлев С.А Почвы и грунты по линии Армавир-Туапсинской железной дороги. СПб., 1914. 332 с.

USE OF FOREST SOILS OF WESTERN CISCAUSSIA AND ENVIRONMENTAL CONSEQUENCES

N.V. ELISEEVA, E.E. SLUSARENKO

Key words: *verkhovodka, forest soils, reforestation, moisture monitoring, soil density, cracking, ecology*

ОЦЕНКА ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И СОДЕРЖАНИЯ ПОДВИЖНЫХ ФОРМ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВАХ ЮЖНОТАЁЖНОЙ КАТЕНЫ ЦЕНТРАЛЬНО-ЛЕСНОГО ЗАПОВЕДНИКА (ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ)

П.Р. ЕНЧИЛИК, И.Н. СЕМЕНКОВ, О.А. САМОНОВА, Н.С. КАСИМОВ

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

Ключевые слова: *дерново-подзолистые почвы, особо охраняемые природные территории, подвижные фракции химических элементов, потенциально токсичные элементы, тайга*

Вариабельность элементного состава фоновых дерново-подзолистых почв до сих пор слабо изучена. Хотя эта информация весьма востребована в эколого-геохимических исследованиях особенно городских территорий, например, в Московском регионе. Цель настоящей работы: оценить уровни вариабельности химических свойств и содержания As, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, La, Mn, Mo, Ni, Pb, Rb, Sb, Sr, Ti, U, W, Zn, Zr в почвах южнотаёжной катены на территории Центрально-Лесного заповедника.

Образцы горизонтов А и В (всего 54) отобраны в июне 2017 г. в 9-ти кратной повторности в радиусе 7 м в пределах трех элементарных ландшафтов катены с общим перепадом высот около 3 м: на вершине холма из грубогумусированных палево-подзолистых почв, на пологом (<2°) склоне юго-восточной экспозиции с дерново-палево-подзолистыми почвами и в небольшой ложбине с торфянистыми подзолистыми профильно-оглеенными почвами (Енчилик и др., 2020). В образцах определяли величину pH в водной суспензии при постоянном помешивании, содержание углерода органических веществ (Сорг) титриметрически с фенилантраниловой кислотой, валовое содержание 20 химических элементов и трех их подвижных форм методом ICP-MS. Подвижные соединения извлекали в течение 18 ч тремя параллельными вытяжками (Minkina et al., 2018): ацетатно-аммонийным буфером (ААБ) с pH 4,8 (соотношение почва: раствор 1:5), ААБ с 1% этилендиаминтетрауксусной (ЭДТА) кислотой (1:5) и 1н HNO3 (1:10). Комплексные соединения рассчитаны по разнице концентрации металлов в вытяжке ААБ с 1% ЭДТА и ААБ; сорбированные гидроксидами Fe и Mn – по разнице содержания в азотнокислой и ацетатно-аммонийной вытяжках. Подвижность (P) рассчитывали, как отношение содержания трех подвижных форм к валовому содержанию.

Содержание Сорг имеет наибольшую вариабельность (в скобках коэффициенты вариации – Cv, %) в В-горизонте (77-100%) с максимумом в заболоченных почвах. Величина pH в горизонтах А и В варьирует слабо: Cv=4-9%, что типично для этого показателя (Самсонова, 2008). В гранулометрическом составе наибольшая вариабельность максимальна у крупного и среднего песка (30-100%) из-за низкого содержания этих фракций в исследуемых горизонтах почв.

Для валового содержания Bi, Co, Cr, Cu, Fe, La, Mo, Pb, Rb, Sb, Sr, Ti, W, Zn, Zr во всех ландшафтах вариабельность в горизонтах А (17-45%) и Т (18-55%) выше, чем в В-горизонте (7-15%). Однако наибольшей вариабельностью (до 100%) обладают Cd и Mn в Т-горизонте подчиненного ландшафта.

Для содержания обменных соединений тенденция с набольшей вариабельностью в А-горизонте наблюдается для большинства элементов за исключением Bi с максимальным Cv=100% в подчиненном ландшафте и ландшафте склона. Высокие Cv также наблюдаются для содержания As в Т- горизонте потяжины, Cr и La – в А-горизонте междуречья и склона

Вариабельность содержания комплексных соединений As, Co, La, Mo, Rb, Sb и Zr также выше в верхних горизонтах, чем в нижнем. В В-горизонте вариабельность выше у Cd, Cr, Cu, Ni, а также в автономном ландшафте – у Mn, W, Zn. Наибольших значений (>70%) коэффициент вариации достигает у Cd и Ni в В-горизонте почв междуречья; Rb – в А, Т-горизонтах всех исследуемых позиций и в В-горизонте склона; Sb – в А-горизонте склона; Sr – в А-горизонте склона и В-горизонте всех исследуемых позиций; Ti – в торфе; W – в А-горизонте склона.
Высока вариабельность (80-100%) сорбированных гидроксидами Fe и Mn соединений в А-горизонте автономного ландшафта у Cr, Rb, Sb, Sr, U, в ландшафте склона – La, Mn, Sb. Cv содержания Cr, Rb, Sb, Ti, W возрастает (<100%) в Т-горизонте подчиненного ландшафта. В В-горизонте всех исследуемых ландшафтов вариабельность содержания Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb снижается до 10-30%.
По вариабельности подвижности в ландшафтах катены также можно выделить La, Rb, Sb, W, Zr с Cv<50% преимущественно в А-горизонте. При этом, наибольшая вариабельность подвижности (80-100%) в Т-горизонте характерна для As, Sb, W, в А-горизонте склона – La, Sb, W, междуречья – Sb и Zr.

Элементный состав почв исследован в ВИМС им. Н.М. Федоровского, физико-химические свойства – в Эколого-геохимическом центре географического факультета МГУ. Полевые работы проведены в рамках проекта РГО № № 04/2019/РГО-РФФИ, интерпретация результатов – проекта РНФ № 19-77-30004.

ЛИТЕРАТУРА

1. Енчилик П.Р., Семенков И.Н., Асеева Е.Н., Самонова О.А., Иовчева А.Д., Терская Е.В. Катенарная биогеохимическая дифференциация в южно-таежных ландшафтах (Центрально-Лесной заповедник, Тверская область) // Вестн. Моск. ун.-та. Серия 5. География. 2020. № 6 С. 121–133.
2. Самсонова В.П. Пространственная изменчивость почвенных свойств на примере дерново-подзолистых почв. М.: ЛК, 2008. 160 с.

ASSESSMENT OF THE SPATIAL VARIABILITY OF CHEMICAL PROPERTIES AND THE CONTENT OF ELEMENTS MOBILE FRACTIONS IN THE SOILS OF THE SOUTHERN TAIGA CATENA OF THE CENTRAL FOREST RESERVE (FIRST RESULTS)

P.R. ENCHILIK, I.N. SEMENKOV, O.A. SAMONOVA, N.S. KASIMOV

Key words: *retisols, potentially toxic elements, taiga, specially protected natural areas, elements mobile fractions*

ВЛИЯНИЕ ПОЧВЕННОГО СУБСТРАТА НА ВОЗОБНОВЛЕНИЕ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ

М.В. ЕРМАКОВА

Ботанический сад Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург

Ключевые слова: *вырубка, естественное возобновление, минерализация почвы, сосна обыкновенная*

В процессе естественного возобновления территорий, где древостои были уничтожены в результате вырубок, пожаров и других неблагоприятных факторов природного и антропогенного происхождения, основополагающую роль играют лесорастительные условия, наличие источников обсеменения и состояние почвенного субстрата. В целях интенсификации естественного возобновления применяются различные меры содействия, прежде всего минерализация верхнего слоя почвы.

В целом, достаточно хорошо изучены общие количественные показатели возобновления хвойных древесных видов в различных лесорастительных условиях. В различных экотопах, например, на гарях и вырубках сосняка брусничникового при наличии деревьев-обсеменителей количество всходов сосны может достигать нескольких сотен тысяч (Санников, 1992; Санников и др., 2019). Однако, процессы появления возобновления сопровождаются интенсивными процессами его отпада. Естественно предположить, что в определенной мере это связано с состоянием почвенного субстрата, который определяет не только эффективность и динамику появления всходов, но и условия его выживания.

В рамках проводимых исследований процессов естественного возобновления сосны обыкновенной в различных лесорастительных условиях и экотопах Среднеуральского таежного лесорастительного района была изучена возрастная структура подроста сосны на 14-летних вырубках сосняка брусничникового произрастающих в условиях Почвы – горно-лесные, слабооподзоленные, среднесуглинистые. Лесная подстилка мощностью 1,5-3,0 см в состав которой входит опавшая хвоя, веточки деревьев, отмершие части живого напочвенного покрова (ЖНП) и т.д. Площади исследования располагались как непосредственно на самих площадях вырубок, где ЖНП и лесная подстилка были практически не повреждены, так и на площадках с минерализацией почвы и перемешиванием подстилки.

На 12-й год после рубки численность подроста на вырубках и минерализованных участках значительно различалась. На участках вырубок с нетронутым ЖНП количество деревьев подроста составило порядка 15 тыс. экз. на 1 га, а на минерализованных площадках оказалось свыше 40 тыс. экз. на 1 га.

При исследовании возрастной структуры подроста было установлено, что после рубки процесс естественного возобновления как на вырубках, так и на минерализованных площадках продолжался в целом не более 6-7 лет после рубки, а потом практически полностью прекращался.

Наибольшее количество деревьев на вырубках относилось к возобновлению, появившемуся на 4-5 год, а на минерализованных площадках на 3-5 год после рубки. Было установлено, что деревья подроста, относящиеся к возобновлению, появившемуся на 1-2 год после рубки составляют небольшую долю (5-8 %) от общего количества подроста как на вырубках, так и на минерализованных участках. Таким образом, выживаемость возобновления, появившегося в первые годы после рубки, как на вырубках, так и на минерализованных участках, оказалась крайне низкой. Вероятно, почвенному субстрату, затронутому рубкой древостоя, тем более минерализованному субстрату требуется определенный период для

оптимизации его структуры, физико-механических свойств и водного режима обеспечивающих выживание всходов (Blouin et al., 2008; Ivanova et al., 2016).

В свою очередь наименьшую долю (1-3 %) от общего количества составили деревья, появившиеся из возобновления появившиеся на 6-8 год после рубки как на вырубках, так и на минерализованных участках. Вероятнее всего, на 6-8 год после вырубки активное развитие ЖНП на почвенном субстрате препятствуют дальнейшему появлению всходов сосны как на площадях вырубок, так и на минерализованных участках.

Таким образом, эффективность возобновления сосны на вырубках, даже при наличии мер содействия естественному возобновлению во многом определяется оптимальным сочетанием почвенных условий и интенсивностью развития ЖНП. Такой период наступает не ранее через 3 года после вырубки древостои и продолжается в течение недолгого периода в 2-3 года. Это необходимо учитывать, при оценке успешности естественного возобновления сосны, в т.ч. и при наличии мер содействия естественному возобновлению.

Работа выполнена в рамках Государственного задания Ботанического сада УрО РАН

ЛИТЕРАТУРА

1. Санников С.Н. Экология и география естественного возобновления сосны обыкновенной. М.: Наука, 1992. 264 с.
2. Санников С.Н., Санникова Н.С., Кочубей А.А., Петрова И.В. Естественное возобновление сосны на гарях в лесостепи Западной Сибири // Сибирский лесной журнал. 2019. № 5. С. 22–29. DOI: 10.15372/SJFS20190503
3. Blouin V.M., Schmidt M.G., Bulmer C.E., Krzic M. Effect of compaction and water content on Lodgepole pine seedlings growth. Forest Ecology and Management. 2008. Vol. 255. P. 2444–2452.

EFFECT OF SOIL SUBSTRATE ON NATURAL REGENERATION OF SCOTCH PINE

M.V. ERMAKOVA

Key words: *Scotch pine, felling, mineralization of soil, natural regeneration*

ВЛИЯНИЕ ПОЧВЕННО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА РОСТ СЕЯНЦЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В ЛЕСНОЙ И ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЕ ЗАУРАЛЬЯ

М.В. ЕРМАКОВА

Ботанический сад Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург

Ключевые слова: *биометрические параметры, климатические условия, плотность древесины, сосна обыкновенная*

Оценка влияния климатических изменений на рост и развитие растительности в т.ч. и хвойных древесных видов требует комплексного многофакторного похода, учитывающего аспекты взаимодействия с различными факторами окружающей среды, такими как почвенные условия. Такой подход крайне актуален в Зауралье, где остро стоит вопрос необходимости искусственного лесовосстановления в условиях как лесной, так и лесостепной ландшафтно-географических зоны. В контексте решения этой проблемы нами проведены исследования влияния почвенно-климатических особенностей на формирование параметров 2-летних сеянцев сосны обыкновенной, выращенных в условиях базисных питомников Зауралья.

Климат района исследований изменяется при продвижении с запада на восток, от континентального на Урале до резко континентального в Зауралье. Годовая амплитуда среднемесячных температур воздуха (января-июля) в западной части района составляет 28 – 33 0С, далее к востоку – 34-44 0С и 34-36 0С в лесостепной зоне Зауралья. Особенность гидрологических района исследований – избыточное увлажнение при недостатке тепла в лесной зоне, и избыток тепла при недостаточном увлажнении в лесостепной (Кувшинова, 1968). В питомниках лесной зоны преобладают средне- и тяжелосуглинистые дерново-подзолистые почвы с содержанием гумуса от 4,6 до 6,2 %. В питомниках лесостепной зоны представлены легко- и среднесуглинистые серые лесные почвы и выщелоченные черноземы с содержанием гумуса от 1,0 до 4,8 % (Гафуров, 2008, Научно-обоснованная система…, 2020).

Как показали результаты исследований, биометрические показатели 2-летних сеянцев сосны колебались в очень широком диапазоне: диаметр корневой шейки стволика в лесной зоне варьировал от 1,2 до 5,3 мм в лесной и от 1,6 до 10,0 мм в лесостепной зоне. Высота стволика колебалась в лесной зоне от 6,2 до 18,7 см, а в лесостепной от 7,0 до 28,8 см. Прирост по высоте за первый год выращивания в лесной зоне составил 2,2 – 9,3 см, а в лесостепной 2,5- 12,1 см. Прирост по высоте за второй год выращивания варьировал от 2,9 до 11,7 см, а в лесостепной от 3,7 до 19,0 см. Средняя длина хвои в лесной зоне составляла 3,5 см, а в лесостепной 3,7-18,5 см. Как видно по результатам исследования за один и тот же срок выращивания сеянцы сосны в лесостепной зоне Зауралья достигают значительно больших размеров как диметру корневой шейки, так и по высоте стволика по сравнению сеянцами в лесной зоне. Сеянцы в лесостепной зоне демонстрируют более активной рост стволика по высоте как первый, так и на второй год выращивания по сравнению с сеянцами лесной зоны. Рост хвои – основного ассимилирующего органа сеянцев в лесостепной зоне также более значителен, чем в лесной.

Однако, в контексте более интенсивного сеянцев сосны в лесостепной зоне по сравнению с лесной возникает вопрос их о качественных показателях формирования их древесины. Для решения этого вопроса были проведено изучение базисной плотности древесины стволиков 1-го и 2-го года. Для изучения параметров базисной плотности древесины использовался метод максимальной влажности применимым к исследованию небольших образцов (Столяров и др., 1983). Как показывают результаты исследований базисная плотность

древесины побегов 1-го года в лесной зоне варьировала в пределах от 380 до 487 г, а в лесостепной от 302 до 423 г на 1 см3. Базисная плотность древесины побегов 2-го года выращивания колебалась в лесной зоне от 310 до 366, а в лесостепной от 249 до 377 г на 1 $см^3$.

Таким образом, сочетание почвенно-климатических условий выращивания обусловливает существенное различие в биометрических параметрах, размерах фотосинтезирующего органа и характеристиках древесины 2-летних сеянцев сосны обыкновенной выращенных в лесной и лесостепной зоне Зауралья. Сеянцы сосны, выращенные в условиях избыточного увлажнения при недостатке тепла в условиях дерново-подзолистых тяжело- и среднесуглинистых почв отличаются хотя и характеризуются более низкими темпами радиального роста и линейного роста в высоту, но отличаются более плотной древесиной стволика по сравнению с сеянцами, выращенными в условиях избытка тепла при недостаточном увлажнении на легко- и среднесуглинистых серых почвах и выщелоченных черноземах. Более высокая плотность древесины 2-летних сеянцев сосны, выращенных в лесной зоне Зауралья, обеспечивает им более высокую устойчивость при воздействии негативных абиотических и биотических факторов окружающей среды.

Работа выполнена в рамках Государственного задания Ботанического сада УрО РАН

ЛИТЕРАТУРА

1. Гафуров Ф.Г. Почвы Свердловской области. Екатеринбург, Изд-во Уральского гос. университета, 2008. 386 с.
2. Кувшинова Н.В. Климат. В кн.: Урал и Приуралье. М.: Наука, 1996. С. 88–117.
3. Научно-обоснованная зональная система земледелия Свердловской области. Коллективная монография. Под ред. Зезина Н.Н. Екатеринбург, 2020. 372 с.

THE INFLUENCE OF SOIL-CLIMATIC CONDITIONS ON THE GROWTH OF COMMON PINE SEEDLINGS IN THE FOREST AND FOREST-STEPPE ZONE OF THE TRANS-URALS

M.V. ERMAKOVA

Key words: *Scotch pine, climatic conditions, biometric parameters, wood density*

ВЛИЯНИЕ ЛЕСНЫХ ПОСАДОК НА ЭМИССИЮ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА С ПОВЕРХНОСТИ ПОЧВЫ В ПОВОЛЖЬЕ И ПОДОНЬЕ

Д.Г. ЗАМОЛОДЧИКОВ В.В. КАГАНОВ

Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов Российской академии наук, г. Москва

Ключевые слова: *влажность почвы, лесные посадки, почва, степная зона, температура, эмиссия диоксида углерода*

Современное глобальное потепление климата приобретает все более выраженный характер и сопровождается усилением ряда негативных эффектов. Аридные регионы являются одними из наиболее уязвимых к изменению климата, особенно при сочетании трендов к увеличению температуры и к уменьшению осадков. В частности, такая ситуация наблюдается в южных областях Европейской части России (Доклад …, 2021). Это создает угрозы для сельского хозяйства в этих областях. Лесомелиорация традиционно рассматривается, как способ локального улучшения климатических условий и борьбы с эрозией почвы. Однако, в 1940-1950 гг. задача аридного лесоразведения ставилась более широко: речь шла об улучшении климата региона и защите от суховеев. Значительная часть масштабных лесных посадок 1950-х гг. сохранилась до настоящего времени, что дает возможность на экспериментально-полевых данных рассмотреть изменения климатических и экологических условий после облесения. ЦЭПЛ РАН проводит работы по оценке влияния лесоразведения на состояние почвы (Каганов, 2012). Цель настоящей работы состоит в оценке влияния лесных посадок на эмиссию диоксида углерода с поверхности почвы.

Полевые работы проводили в августе 2020 и 2021 гг. на следующих географических точках: 1) Волгоградская обл., Руднянский р-н, с. Козловка; 2) Астраханская обл., ГПЗ Богдинско-Баскунчакский, участок Зеленый сад; 3) Воронежская обл., заказник Каменная степь; 4) Самарская обл., памятник природы Генковские лесополосы; 5) Ростовская обл., окр. г. Белая Калитва, ГЗЛП Пенза – Белая Калитва На каждом из объектов были выбраны лесные насаждения, созданные в начале и в середине XX века. Главными породами в большинстве посадок являлись дуб черешчатый, клен остролистный и вяз приземистый, в качестве пород-спутников выступали ясень пенсильванский и обыкновенный, липа мелколистная, робиния псевдоакация. Контрольные участки с травянистой растительностью выбирали вблизи лесных насаждений, обеспечивая одинаковые геоморфологические условия и принадлежность к одной почвенной разности до создания лесных культур. Травяная растительность на безлесных участках представлена разнотравными и полынно-злаковыми сообществами с доминированием вейников, полыней и ковыля. На части контрольных участков осуществляется периодическое сенокошение.

Измерения проводили камерным методом с использованием портативного газоанализатора, смонтированного на базе сенсора AZ7752. Потоки измеряли в цилиндрических пластиковых основаниях диаметром 11 см и высотой 15-20 см. Базы заранее вкапывали в почву на глубину 5 см. При измерении основание герметично накрывали пластиковой крышкой, соединенной шлангами с газоанализатором. Экспозиция крышки на базе составляла около 2 мин., отсчеты концентрации диоксида углерода записывали через каждые 20 сек. Одновременно с измерениями газового потока регистрировали температуру приземного слоя воздуха на высоте 30 см и температуру почвы на глубине 10 см с помощью термометра Checktemp 1, а также объемную влажность почвы в слое 0-7 см с помощью влагомера HH2. Одновременно на каждом участке использовали 9-10 оснований, измерения на каждом основании проводили 3 раза за сутки. При обработке данных сначала усредняли по значения, полученные на данном участке в данный срок.

Полученные усредненные значения использовали в дальнейшем анализе при проверке статистических гипотез и построении регрессионных уравнений.

Хорошо известно, что лесные насаждения смягчают температурные условия. Средняя температура воздуха в лесных насаждениях составила 23.0 °С при 25.1 °С на безлесных участках (P<0.01). Разница между температурам почвы выше: 17.1 и 22.1 °С соответственно (P<0.01). Смягчающее действие лесного насаждения было тем выше, чем выше температура воздуха и почвы. Несколько неожиданно, объемная влажность верхнего слоя почвы в лесных насаждениях (5.3%) была меньше, чем на безлесных участках (7.4%)(P=0.02). Вероятное объяснение может быть связано с более эффективной транспирацией древесной растительности.

Почвенная эмиссия диоксида углерода была в лесных насаждениях заметно выше (3.0 г С м-2) в сравнении с безлесными участками (2.2 г С м-2)(P<0.01). При этом и температура почвы, и влажность почвы на лесных участках ниже. Здесь, вероятно, сказывается разница в динамике первичной продуктивности сравниваемых растительных сообществ. При однофакторном регрессионном анализе более значимое влияние на величину эмиссии показала влажность, в диапазоне от 1.7 до 14.1% ее влияние было положительным. Температура продемонстрировала отрицательное сопряжение с величиной эмиссии, очевидно, что ее реальное влияние маскируется сочетанием других факторов, то есть влажности и продуктивности.

Активизация эмиссии диоксида углерода с поверхности почвы под лесными посадками в аридных регионах может иметь важное значение для определения величин запасов почвенного углерода. Эта активизация сопутствует увеличению первичной продукции в лесных насаждениях и способствует стабилизации запасов углерода в почве на уровне, характерном для безлесных участков.

Работа при финансовой поддержке гранта РНФ 19–77–30015

ЛИТЕРАТУРА

1. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2020 год. М.: Росгидромет, 2021. 104 с.
2. Каганов В.В. Изменение экосистемных запасов углерода при облесении в степной и полупустынной зонах Европейской части России // Проблемы региональной экологии. 2012. № 4. С. 7-12.

INFLUENCE F AFFORESTATION ON SOIL EMISSIONS OF CARBON DIOXIDE IN VOLGA AND DON REGIONS

D.G. ZAMOLODCHIKOV, V.V. KAGANOV

Key words: *emission of carbon dioxide, soil, afforestation, grassands, temperature, soil moisture*

ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ ПОЧВЕННЫХ УСЛОВИЙ НА ПОСТОЯННЫХ ПРОБНЫХ ПЛОЩАДЯХ МЕТОДАМИ ФИТОИНДИКАЦИИ

Е.В. ЗУБКОВА, И.В. ПРИПУТИНА, М.В. АНДРЕЕВА

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН,
ФИЦ ПНЦБИ РАН, г. Пущино

Ключевые слова: *богатство почв азотом, влажность почв, почва, сосняки с липой*

Исследование изменения экологии. Такие данные можно получать как на основе анализа почвенных проб, так и на основании списков растений с использованием фитоиндикационных шкал (Раменский и др., 1956; Цыганов, 1983; Landolt, 1977; Ellenberg, 1981 и др.). Оба метода имеют свою ценность и помогают в решении определенных задач. Анализ проб почвы отражает почвенные условия на конкретном участке в момент отбора материала. В связи с тем, что прироные биогеоценозы функционируют в гетерогенной среде (подстилающие породы, механический состав почвы, рельеф, метеоусловия, деятельность животных, человека и др.) для понимания получаемых результатов требуется большое число проб, что не всегда возможно. Анализ условий с использованием экологических шкал позволяет по видовым спискам сообществ на основании диапазонов толерантности растений получать балловые характеристики состояния и тренды изменения комплекса факторов. Особенную ценность для понимания происходящих процессов представляют геоботанические описания, выполненные в рамках многолетних наблюдений на постоянных пробных площадях (ПП).

Методами фитоиндикации с применением программы EcoScale (Зубкова и др., 2008) выполнен анализ динамики почвенных условий для двух ПП, заложенных в разные годы в сосняках с липой и лещиной в подзоне южной тайги и подзоне хвойно-широколиственных лесов (Припутина и др., 2015; Зубкова и др., 2020). Участки сосновых лесов в обоих случаях приурочены к дерново-слабоподзолистым почвам легкого гранулометрического состава, сформировавшихся на отложениях аллювиального генезиса в пределах террас Москва-реки и р. Оки. В Серебряноборском опытном лесничестве (СОЛ) участок был заложен в 1957 году сотрудниками Института лесоведения. Описания видового состава растений проводились в 1957, 1990, 1995 и 2003 годах (Рысин и др., 2003, 2010). На территории Приокско-Террасного государственного природного биосферного заповедника (ПТЗ) профессором В.Г. Онипченко с участием студентов и аспирантов биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова исследования были начаты в 1991 г. и проводятся ежегодно по настоящее время. Условия функционирования данных фитоценозов приближены к лесам естественного развития.

Представляемые результаты были получены с применением двух новых подходов к оценке диапазонов толерантности растений травяно-кустарничкового яруса (ТКЯ) к факторам увлажнения почв (Hd) и богатству почв азотом (Nt) при анализе: 1) зоны перекрывания диапазонов и 2) числа стенобионтов в разные сроки исследований. В первом случае для сводного списка за все годы наблюдений была составлена диаграмма взаимного расположения диапазонов. Выявлено, что условия увлажнения почвы не были критическим фактором для жизни всех отмеченных растений ТКЯ на обеих территориях. У всех растений диапазоны толерантности имели зону общих значений. В ПТЗ она составляет 2 балла, в СОЛ – 9 баллов, что говорит о более однородных условиях в СОЛ. По фактору богатства почв азотом в описаниях СОЛ и ПТЗ присутствуют растения с неперекрывающимися диапазонами толерантности. В СОЛ это *Aegopodium podagraria* L.; в ПТЗ это растения,

встречающиеся преимущественно на бедных азотом почвах: *Orthilia secunda* (L.) House, *Trientalis europaea* L., *Vaccinium vitis-idaea* L., *Viola collina* Bess., *Viola hirta* L. и, растения почв богатых азотом: *Adoxa moschatellina* L., *Aegopodium podagraria* L., *Anthriscus sylvestris* (L.) Hoffm., *Cardamine impatiens* L., *Rubus caesius* L. При этом сныть, адокса и ежевика, появились только в 2000-х годах – что в целом может свидетельствовать об увеличении содержания азота в почве. Сам факт наличия таких растений может говорить либо о нестабильности условий по годам, либо о неоднородности условий на ПП. Для уточнения этого предположения был проведен анализ числа стенобионтов по отношению к фактору обеспеченности почвы азотом в разные годы наблюдений. Было принято, что стенобионты – виды с шириной диапазона толерантности не более 5 баллов при ширине шкалы Nt 11 баллов (Комаров, Зубкова, 2012). Выделено 4 группы стенобионтов следующих местообитаний: I – очень бедных азотом (баллы от 1 до 5), II – бедных азотом (баллы 3-7), III – достаточно обеспеченных азотом (баллы 5-9), IV – богатых азотом (баллы 7-11). Растения всех 4-х групп присутствовали на ПП с начала проведения наблюдений на обеих территориях – это говорит о мозаичности пространственных условий. Анализ расположения деревьев, подроста и подлеска в ПТЗ показал неоднородность размещения подроста ели (*Picea abies* (L.) H.Karst.), липы (*Tilia cordata* Mill.), а также кустов лещины (*Corylus avellana* L.). Известно, что, хвоя ели беднее азотом по сравнению с листовым опадом липы (Ремезов, 1959), что влияет на формирование почвенных условий.

Таким образом, применение фитоиндикации при анализе динамики условий на постоянных пробных площадях в сосняках с липой и лещиной выявило отсутствие в период наблюдений изменений по фактору увлажнения почв и улучшение обеспеченности почв азотом.

Финансирование: РНФ 18-14-00362 "Моделирование динамики и анализ структурной сложности лесных экосистем: роль микро-, мезо- и макронеоднородности в поддержании устойчивости и продуктивности растительных сообществ".

ЛИТЕРАТУРА

1. Зубкова Е.В., Андреева М.В., Припутина И.В. Изменения видового состава и экологических условий в сосняке сложном подзоны хвойно-широколиственных лесов в условиях заповедного режима // Биосфера. 2020. Т. 12. № 4. С. 214–222.
2. Зубкова Е.В., Ханина Л.Г., Грохлина Т.И., Дорогова Ю.А. Компьютерная обработка геоботанических описаний по экологическим шкалам с помощью программы EcoScaleWin: Учебное пособие/ Мар.гос.ун-т, Пущинский гос. ун-т. Йошкар-Ола: МарГУ, 2008. 96 с.
3. Комаров А.С., Зубкова Е.В. О стенобионтности и эврибионтности. Известия Самарского научного центра РАН. 2012. Т. 14. № 1 (5). С. 1268–1271.
4. Припутина И.В., Зубкова Е.В., Комаров А.С. Ретроспективная оценка динамики обеспеченности почв азотом сосновых лесов ближнего Подмосковья по данным фитоиндикации // Лесоведение. 2015. №3. С. 172–181.
5. Раменский Л.Г., Цаценкин И.А., Чижиков О.Н., Антипин Н.А. Экологическая оценка кормовых угодий по растительному покрову. М., 1956. 472 с.
6. Ремезов Н.П., Быкова Л.Н., Смирнова К.М. Потребление и круговорот азота и зольных элементов в лесах Европейской части СССР. Изд. Моск. Ун., 1959. 284 с.
7. Рысин Л.П., Савельева Л.И., Полякова Г.А., Рысин С.Л., Беднова О.В., Маслов А.А. Мониторинг рекреационных лесов. М.: ОНТИ ПНЦ РАН, 2003. 168 с.
8. Рысин Л.П., Алексахина Т.И., Быков А.В., Колесников А.В., Лысиков А.Б., Маслов А.А., Меланхолин П.Н., Молчанов А.Г., Полякова Г.А., Цельникер Ю.Л. Серебряноборское опытное

лесничество: 65 лет лесного мониторинга. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2010. 260 с.
9. Цыганов Д.Н. Фитоиндикация экологических режимов в подзоне хвойно-широколиственных лесов. М.: Наука, 1983. 197 с.
10. Ellenberg H., Weber H.E., Dull R., Wirth V., Werner W., Paulisen D. Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa [Indicator values of plants in Central Europe] // Scripta Geobotanics. V. 18. Verlag Erich Goltze KG, Gottingen, 1991. 248 s.
11. Landolt E. Okologische Zeigerwerts zur Sweizer Flora. Veroff. Geobot. Inst. ETH. Zurich. H.64. S. 1–208.

ASSESSMENT OF CHANGES IN SOIL CONDITIONS OF FORESTS PLOTS BY PHYTO-INDICATION METHODS

E.V. ZUBKOVA, I.V. PRIPUTINA, M.V. ANDREEVA

Key words: *pine forests with linden, soil, nitrogen richness of soils, soil moisture*

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ОПАДА ХВОИ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В СЕВЕРОТАЕЖНЫХ СОСНОВЫХ ЛЕСАХ В УСЛОВИЯХ АЭРОТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Е.А. ИВАНОВА[1], Н.В. ЛУКИНА[2], В.Э СМИРНОВ[2], Л.Г ИСАЕВА[1]

[1]Институт проблем промышленной экологии Севера, ФИЦ КНЦ РАН, г. Апатиты
[2]Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов Российской академии наук, г. Москва

Ключевые слова: *аэротехногенное загрязнение, внутрибиогеоценотическая изменчивость, сезонная вариабельность, сосновые леса, хвойный опад, химический состав*

Опад ассимилирующих органов древесных растений представляет активную быстроразлагающуюся фракцию и является источником доступных для биоты элементов питания. Содержание элементов в опаде зависит от древесной породы, включая возраст деревьев (Becker et al., 2018; Ukonmaanaho et al., 2008; Preston et al., 2006; Trap et al., 2013), климатических условий, положения лесного участка в ландшафте (Бессонова и др., 2017), почвенного плодородия, сезона года (Jonczak, Parzych, 2014; Чульдиене, 2017). Атмосферное загрязнение приводит к усилению дефолиации деревьев и нарушению процессов ретранслокации элементов внутри деревьев (Лукина, Никонов 1996; Ярмишко, Лянгузова, 2013; Nieminen, Helmisaari, 1996; Rautio et al, 1998). В центральной части Мурманской области расположено крупное горно-металлургическое предприятие – комбинат «Североникель» (АО «Кольская ГМК»), основными компонентами выбросов которого являются сернистый ангидрид и полиметаллическая пыль (Ni, Cu). Цель данной работы: оценить влияние аэротехногенного загрязнения комбината «Североникель» на химический состав опада хвои сосны обыкновенной с учетом внутрибиогеоценотической и сезонной изменчивости в северотаежных сосновых лесах.

Исследования проводились в 2014–2017 гг. на постоянных пробных площадях Института проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН в северотаежных сосняках кустарничково-лишайниковых на Кольском полуострове и материковой части Мурманской области. Площадки характеризуют различные стадии дигрессионной сукцессии и расположены по градиенту загрязнения в юго-юго-западном направлении от медно-никелевого комбината «Североникель» (г. Мончегорск) на расстоянии 7-10 км от источника выбросов в техногенных редколесьях (Р), в 20–100 км в дефолиирующих лесах (Д) и в 100-200 км – в лесах в фоновых автоморфных условиях (Лукина, Никонов, 1998).

Опад на площадках собирается в соответствии с рекомендациями международной программы ICP-Forests (Ukonmaanaho et al., 2016) в хлопковые мешки, прикрепленные к раме в нижней части собирающей воронки опадоуловителя. Опадоуловители на площадках установлены с учетом межкроновых (7-8 шт.) и подкроновых (4-5 шт.) пространств. Отбор образцов проводится дважды в год: в начале октября перед залеганием снега и начале июня после снеготаяния. В лабораторных условиях из общего опада выделялась фракция опада хвои сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). Для проведения анализов отбирали по три смешанные пробы для каждого из сезонов отбора («октябрь-май» и «июнь-сентябрь») для подкроновых и межкроновых пространств. Данные дополнили результатами анализа исходного состава опада хвои эксперимента по разложению 1997-1999 гг.

Расчеты проводились на абсолютно сухой вес. Концентрации металлов (Ca, Mg, K, Al, Fe, Mn, Zn, Cu, Ni) определяли методом атомно-абсорбционной спектрометрии, общее содержание азота – методом Кьельдаля, органического углерода (Сорг) – методом Тюрина, фосфора – методом колориметрии (Воробьева, 1998). Расчет V-критерия для оценки внутрибиогеоценотической и сезонной изменчивости химического состава опада хвои

сосны и влияния воздушного загрязнения (через стадию дигрессии) проводили в среде статистического программирования R (Husson et al., 2017).

Анализ данных показал, что в сосновых лесах, формирующихся в фоновых условиях, опад хвои сосны характеризуется относительно высоким содержанием Mg, Mn и Zn и низким – Al, Fe, Ni, Cu, S ($p<0.05$). Воздушное промышленное загрязнение оказывает значительное влияние на химический состав опада ассимилирующих органов деревьев сосны. В дефолиирующих лесах опад отличается пониженным, по сравнению с фоном, содержанием Ca и Mg и высоким – P ($p<0.05$). Обеднение опада хвои сосны Ca и Mg можно объяснить влиянием воздушного загрязнения: снижением возраста хвои на ветвях и выщелачиванием из живой хвои на деревьях кислотными осадками (Лукина, Никонов, 1998). Увеличение содержания P может быть связано как со снижением возраста хвои на деревьях из-за преждевременного опадания не только в фенологические сроки и нарушением процессов ретранслокации подвижных элементов в условиях загрязнения (Nieminen, Helmisaari, 1996; Rautio et al., 1998), так и с одновременным повышением концентраций K и N как проявление связи в соотношении N:P:K (Сазонова и др., 2005). В техногенных редколесьях хвойный опад характеризуется высокими концентрациями Ca, Al, Fe, Ni, Cu, S и низкими – Mn, Zn и P ($p<0.05$). Повышение содержания тяжелых металлов (Ni, Cu Fe), и снижение содержания Mn и Zn может объясняться проявлением антагонизма между элементами (Лукина и др., 2008; Сухарева Лукина, 2014). Низкое содержание фосфора, предположительно, может быть связано с его изначально дефицитным уровнем в хвое сосны (Сухарева, Лукина, 2014), и антагонизмом с кальцием (Лукина и др., 2008), тогда как высокое содержание Ca в опаде хвои сосны в техногенных редколесьях может быть связано с поглощением сосной кальция из богатых этим элементом горизонтов почв за счет большого количества габбро- и габбронoритов в почвообразующих породах (Лукина, Никонов, 1998; Ананьева и др., 2012; Лукина и др., 2008).

Воздушное загрязнение влияет и на величину соотношений C/P и N/P, характеризующих качество растительного материала для почвенной биоты, в том числе микроорганизмов-деструкторов. В хвойном опаде сосны обыкновенной в дефолиирующих лесах соотношения C/P и N/P имеют достоверно самые низкие значения, в техногенных редколесьях – самые высокие, что может объясняться большой разницей в концентрации фосфора – высокой в дефолиирующих лесах и низкой в техногенных редколесьях.

Химический состав опада ассимилирующих органов сосны характеризуется значительной внутрибиогеоценотической изменчивостью как в условиях фона, так и при аэротехногенном загрязнении. В условиях фона растительный материал, отобранный под кронами деревьев, отличается более высоким содержанием подвижных K и P ($p<0.05$), поступающих в опад с кроновыми и стволовыми водами. В межкроновых пространствах опад хвои сосны содержит больше Fe, Zn, Ni и Cu ($p<0.05$), что может быть связано с фоновым аэротехногенным загрязнением, вызванным переносом поллютантов в аэрозолях, распространяющихся на значительные расстояния (Ершов и др., 2019). В дефолиирующих сосновых лесах опад хвои в подкроновых пространствах характеризуется более высоким содержанием Ca, Mg, K, Mn, P, N и S ($p<0.05$), интенсивно поступающих с кроновыми и стволовыми водами в результате выщелачивания элементов питания из крон деревьев (Ca, Mg, K, Mn, P), и как компонент кислотных атмосферных осадков (S). Соотношения C/N и C/P выше в межкроновых пространствах ($p<0.05$) за счет меньшей концентрации фосфора при сходном с подкроновыми пространствами содержании углерода в опаде. В техногенных редколесьях содержание Ca в хвойном опаде выше под кронами деревьев ($p<0.05$), что может быть связано с интенсивным выщелачиванием кальция из хвои с последующим поступлением его с осадками в опад. Отсутствие различий в содержании других элементов и их соотношений

в сосновом редколесье можно объяснить большой сквозистостью крон из-за их повреждения.

Сезонная вариабельность химического состава опада хвои сосны имеет общие черты у сосняков фоновых условий и сосняков, функционирующих в условиях аэротехногенного загрязнения. В сосняках фоновых условий растительный материал, отобранный после холодного периода («октябрь-май»), отличается высоким содержанием Fe, Zn, Cu, P и S, тогда как после теплого периода («июнь-сентябрь») характеризуется высокими концентрациями Ca и Mn и более высоким соотношением C/P ($p<0.05$). В дефолиирующих сосновых лесах хвойный опад холодного периода года характеризуется более высокими концентрациями Al, Fe, Zn, Ni, Cu и широким отношением N/P, опад теплого периода, как и в фоновых условиях, отличается высоким содержанием не способных к ретранслокации внутри деревьев Ca и Mn ($p<0.05$) – накопленные в течение вегетационного сезона, эти элементы остаются в опадающей хвое. В техногенных редколесьях опад хвои холодного периода года содержит больше Fe, Zn, Ni и Cu, теплого периода – больше Mg, K и Mn ($p<0.05$). Накопление K и Mg к концу вегетационного сезона может свидетельствовать о нарушении процессов ретранслокации в условиях загрязнения. Значительное (почти в два раза) снижение содержания Fe и Zn в опаде после завершения вегетационного периода во всех изученных сосняках и Ni и Cu ($p<0.05$) – в сосняках, подверженных воздушному загрязнению, может объясняться антагонизмом с ионами Mn (Лукина и др., 2008) в фоне, а в условиях аэротехногенного загрязнения дополняться выщелачиванием и смывом с поверхности хвои в летний период подкисленными осадками.

Таким образом, аэротехногенное загрязнение способствует изменению химического состава хвойного опада в сосновых лесах северотаежной лесной зоны, оказывает значительное влияние на сезонную и внутрибиогеоценотическую изменчивость поступления элементов с опадом, что может оказывать непосредственное влияние на состояние лесных экосистем Севера и динамику биогеохимических циклов углерода, элементов питания и тяжелых металлов в лесах.

Исследование выполнялось в рамках Государственного задания Института проблем промышленной экологии Севера ФИЦ КНЦ РАН №0226-2018-0111 (АААА-А18-118021490070-5).

ЛИТЕРАТУРА

1. Ананьева С.И., Белова Е.А., Булычев А.Г., Булычева И.А., Заколдаева А.А., Зацаринный И.В., Исаева Л.Г., Косякова А.Ю., Ларькова М.С., Лукина Н.В., Мерщиев А.В., Поликарпова Н.В., Трушицына О.С., Собчук И.С., Сухарева Т.А., Хлебосолова О.А. Кольская горно-металлургическая компания (промышленные площадки «Никель» и «Заполярный»): влияние на наземные экосистемы / Под общ. ред. О.А. Хлебосоловой. Рязань: НП «Голос губернии», 2012. 92 с.
2. Бессонова В.П., Немченко М.В., Ткач В.В. Запас макроэлементов (P, K, Ca, Mg) и азота в опаде и подстилке в противоэрозионном насаждении Robinia pseudoacacia L. // Вестник Донского государственного аграрного университета. 2017. Вып. № 1 (23.1). Ч. 1. Сельскохозяйственные науки. С. 42–50.
3. Воробьева Л.А. Химический анализ почв: Учебник. М.: Изд-во Московского гос. университета, 1998. 272 с.
4. Ершов В.В., Лукина Н.В., Данилова М.А., Исаева Л.Г., Сухарева Т.А., Смирнов В.Э. Оценка состава дождевых выпадений в хвойных лесах на северном пределе распространения при аэротехногенном загрязнении // Экология. 2020. № 4. С. 265–274.

5. Лукина Н.В., Никонов В.В. Биогеохимические циклы в лесах Севера в условиях аэротехногенного загрязнения: в 2-х ч. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1996 Ч. 1. 213 с.; Ч. 2. 192 с.
6. Лукина Н.В., Никонов В.В. Питательный режим лесов северной тайги: природные и техногенные аспекты. Апатиты: Изд-во Кольского НЦ РАН, 1998. 316 с.
7. Лукина Н.В., Полянская Л.М., Орлова М.А. Питательный режим почв северотаежных лесов. М.: Наука, 2008. 342 с.
8. Сазонова Т.А., Придача В.Б., Теребова Е.Н., Шредерс С.М., Колосова С.В., Таланова Т.Ю. Морфофизиологическая реакция деревьев сосны обыкновенной на промышленное загрязнение // Лесоведение. 2005. № 3. С. 11–19.
9. Сухарева Т.А., Лукина Н.В. Минеральный состав ассимилирующих органов хвойных деревьев после снижения уровня атмосферного загрязнения на Кольском полуострове // Экология. 2014. № 2. С. 97–104.
10. Чульдиене Д., Алейниковиене Ю., Мурашкиене М., Марозас В., Армолайтис К. Распад и сохранность органических соединений и питательных элементов в лиственном опаде после зимнего сезона под лесопосадками лиственницы европейской, бука обыкновенного и дуба красного в Литве // Почвоведение. 2017. № 1. С. 53–63.
11. Ярмишко В.Т., Лянгузова И.В. Многолетняя динамика параметров и состояния хвои Pinus sylvestris L. в условиях аэротехногенного загрязнения на Европейском Севере // Известия СПбЛТА. 2013. № 2 (203). С. 30−46.
12. Becker H., Aosaar J., Varik M., Morozov G., Aun K., Mander Ü., Soosaar K., Uri V. Annual net nitrogen mineralization and litter flux in well-drained downy birch, Norway spruce and Scots pine forest ecosystems // Silva Fennica. 2018. V. 52. No. 4. Article No. 10013.
13. Husson F., Le S., Pages J. Exploratory multivariate analysis by example using R. 2nd ed. London: Chapman & Hall/CRC Press. 2017. 248 p.
14. Jonczak J., Parzych A. The content of heavy metals in the soil and litterfall in a beech-pine-spruce stand in northern Poland // Archives of environmental protection. 2014. V. 40. N. 4. P. 67–77.
15. Nieminen, T., Helmisaari H-S. Nurient retranslocation in the foliage of Pinus sylvestris L. growing along a heavy metal pollution gradient // Tree Physiology. 1996. V. 16. Iss. 10. P. 825–831.
16. Preston C.M., Bhatti J.S., Flanagan L.B., Norris C. Stocks, chemistry, and sensitivity to climate change of dead organic matter along the Canadian boreal forest transect case study // Climate Change. 2006. V. 74. P. 233–251.
17. Rautio P., Huttunen S., Lamppu J. Effects of sulphur and heavy metal deposition on foliar chemistry of Scots pines in Finnish Lapland and on the Kola Peninsula // Chemosphere. 1998. V. 36. Iss. 4. P. 979–984.
18. Trap J., Hättenschwiler S., Gattin I., Aubert M. Forest ageing: an unexpected driver of beech leaf litter quality variability in European forests with strong consequences on soil processes // Forest Ecology and Management. 2013. V. 302. P. 338–345.
19. Ukonmaanaho L., Merila P., Nöjd P., Nieminen T.M. Litterfall production and nutrient return to the forest floor in Scots pine and Norway spruce stands in Finland // Boreal Environment Research. 2008. V. 13 (Suppl. B). P. 67–91.
20. Ukonmaanaho L., Pitman R., Bastrup-Birk A., Breda N., Rautio P. Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests // Part XIII: Sampling and Analysis of Litterfall. UNECE ICP Forests Programme Co-ordinating Centre, Eberswald. 2016. 15 p.

CHEMICAL COMPOSITION OF SCOTS PINE NEEDLE LITTER IN NORTHERN TAIGA PINE FORESTS SUBJECTED TO INDUSTRIAL AIR POLLUTION

E.A. IVANOVA, N.V. LUKINA, V.E. SMIRNOV, L.G. ISAEVA

Key words: *needle litter, chemical composition, pine forests, industrial air pollution, intra-biogeocenotic variability, seasonal variability*

ВЛИЯНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НАСАЖДЕНИЙ ЛИСТВЕННИЦЫ НА ПРОКАРИОТНОЕ СООБЩЕСТВО ГОРНО-ЛУГОВЫХ ПОЧВ (П-ОВ КРЫМ)

Е.А. ИВАНОВА[1], И.В. КОСТЕНКО[2], Н.А. ВАСИЛЬЕВА[1], Е.Е. АНДРОНОВ[3], Е.О. ЗВЕРЕВ[3], Е.В. АБАКУМОВ[4]

[1]Почвенный институт им. В.В. Докучаева Российской академии наук, г. Москва
[2]Никитский ботанический сад, г. Ялта
[3]Всероссийский научно-исследовательсткий институт сельскохозяйстевнной микробиологии, г. Пушкин, г. Санкт-Петербург
[4]Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: *NGS-секвенирование, археи, бактерии, лесопосадки, почвенный микробиом*

Создание искусственных лесных насаждений является одним из путей смягчения негативных последствий изменения климата на экосистемы. Среди древесных пород, входящих в состав лесных массивов на территории Ай-Петринской яйлы, лиственница представляет большой научный интерес по причине наиболее сильного ее влияния на свойства облесенных почв. По результатам исследований горно-луговых почв крымских плато (Костенко, 2018), кислотность почвы под лиственницей значительно превышала этот показатель под сосной и березой, являющихся основой искусственных лесных массивов, а также под покровом естественного букового леса.

Наблюдаемые сдвиги в микробном сообществе в результате изменения состава растительных сообществ являются частью широкой исследовательской задачи при рассмотрении растений как экологического «драйвера» почвенного микробиоценоза. Выявление основных факторов изменения состава микробиома, а также микробных таксонов, маркирующих при этом изменение почвенной среды в результате фитоконверсии, представляет интерес для фундаментальной науки и практически-ориентированных исследований.

С использованием технологии высокопроизводительного NGS-секвенирования (реализуемого на платформе Illumina MiSeq) были изучены структура и разнообразие прокариотных сообществ почв под искусственными насаждениями лиственницы, контролем служили горно-луговые почвы под зональной луговой растительностью. Подготовка библиотек для секвенирования включала в себя амплификацию целевого фрагмента вариабельного участка V4 гена 16S rRNA с использованием универсальных праймеров (515F – GTGCCAGCMGCCGCGGTAA / 806R – GGACTACVSGGGTATCTAAT) (Bates et al., 2010). Предобработка полученных данных включала удаление служебных последовательностей с использованием программы cutadapt (Martin, 2011), а также денойзинг, объединение парных прочтений и удаление химер при помощи пакета dada2 (Callahan et al., 2016), реализованного в программной среде R. Дальнейшая обработка полученных последовательностей, включая расчет альфа- и бета-разнообразия, были проведены в рамках пакета QIIME2 (Bolyen et al., 2019) и реализованных в нем плагинов. Для оценки альфа-разнообразия учитывались индексы разнообразия, отражающие фактическое (количество филотипов) и прогнозируемое видовое богатство (Chao1), филогенетическое разнообразие (Индекс Фейта), степень выравненности (индекс Шеннона) и доминантности (индекс Симпсона).

Изменения в таксономической структуре детектированы на уровне крупных таксонов, в частности, в почве под лиственницей, в том числе в результате подкисляющего влияния

лиственничного опада, отмечено увеличение доли и разнообразия ацидобактерий, обилия олиготрофных микроорганизмов филумов Chloroflexi, Firmicutes, и одновременное сравнительное уменьшение бактерий филумов Verrucomicrobia, альфапротеобактерий пор. Rhizobiales и Burkholderiales. Фактор доминирующего типа растительности оказывается, таким образом, ведущим по отношению к фактору глубины взятия образца, эффект которой проявляется преимущественно в распределении обилия отдельных филотипов. Выращивание лиственницы привело в целом к увеличению разнообразия прокариотного сообщества и стратификации его (на основании значений индексов альфа-разнообразия) по глубине.

Отсутствие четко выраженных доминант в составе прокариотного сообщества почвы под лиственницей, а также существенное увеличение индексов альфаразнообразия, по сравнению с контрольным участком нативной горно-луговой почвы под покровом зональной луговой растительности, позволяет предположить переходный характер почвенной экосистемы искусственных лесопосадок.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 17-16-01030

ЛИТЕРАТУРА

1. Костенко И.В. Влияние искусственных лесных насаждений на горно-луговые почвы Крыма // Почвоведение. 2018. № 5. С. 515–525. DOI: 10.7868/S0032180X18050015
2. Bates S., Caporaso J.G., Walters W.A., Knight R., Fierer N. Examining the global distribution of dominant archaeal populations in soil // ISME J. 2010. V. 5. P. 908–917.
3. Bolyen E., Rideout J.R., Dillon M.R., Bokulich N.A., Abnet C., Al-Ghalith G.A. et al. QIIME 2: Reproducible, interactive, scalable, and extensible microbiome data science. QIIME 2: Reproducible, interactive, scalable, and extensible microbiome data science Peer J 2019. DOI:10.7287/peerj.preprints.27295v1
4. Callahan B.J., McMurdie P.J., Rosen M.J., Han A.W., Johnson A.J., Holmes S.P. DADA2: High-resolution sample inference from Illumina amplicon data // Nature methods. 2016. V. 13. No. 7. P. 581–583.
5. Martin M. CUTADAPT removes adapter sequences from high-throughput sequencing reads // EMBnet J. 2011. V. 17. DOI: 10.14806/ej.17.1.200.

THE EFFECT OF ARTIFICIAL LARCH PLANTATIONS ON THE PROKARYOTIC COMMUNITY OF MOUNTAIN-MEADOW SOILS (CRIMEAN PENINSULA)

E.A. IVANOVA, I.V. KOSTENKO, N.A. VASILIEVA, E.E. ANDRONOV, A.O. ZVEREV, E.E. ABAKUMOV

Key words: *soil microbiome, forest plantations, bacteria, archaea, NGS sequencing*

ВОЗДЕЙСТВИЕ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ НА ПОЧВЫ: ПОСТАНОВКА МОНИТОРИНГОВОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

А.С. ИЛЬИНЦЕВ[1], С.А. РАЙ[2], Е.А. РАЙ[2], Е.Н. НАКВАСИНА[2]

[1]Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства, г. Архангельск
[2]Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, г. Архангельск

Ключевые слова: *волоки, колеи, многооперационная техника, нарушение почвы, свойства почвы, сплошная вырубка*

Образующиеся при проходе лесозаготовительной техники колеи, является одним из негативных экологических последствий, связанных с нарушениями почвенно-растительного покрова вырубок. Они вызывают дополнительную мозаику микрорельфа, что отражается на естественном зарастании вырубок. Размеры колей (глубина и ширина) зависят от технологии разработки лесосек и применяемой техники, однако значительное влияние оказывают почвенные условия и число проездов (Катаров и др., 2012; Shabani, 2017; Sirén et al., 2019; Cambi et al., 2015). Почвенные условия в различных регионах отличаются и должны определять технологические процессы (Мохирев, 2016), чтобы минимизировать воздействие на почвенно-растительный покров.

На опытно-производственном участке ООО «Двинлеспром», расположенном в междуречье С. Двины и Пинеги (Архангельская область, северотаежный лесной район европейской части РФ) изучено влияние разного числа проходов (4, 8, 10) груженого форвадера Ponsse Buffalo King по волоку, не покрытому порубочными остатками. Исходный участок леса представлен ельником черничным V класса бонитета, произрастающим на подзолистой почве на двучленных отложениях. Особенностью таких почв является мелкий почвенный профиль (30-40 см), верхняя часть которого представлена легким гранулометрическим составом, в почвообразующая порода – тяжелым моренным суглинком, перекрытым толщей (8-10 см) покровной супеси, оглеенной на контакте пород до среднего суглинка.

На таких почвах разное число проездов будет определять строение колеи, и особенно строение толщи на ее дне, связанное с формирование турбированных горизонтов разного строения. Вынос на дневную поверхность разных по гранулометрическому составу масс почвы, в свою очередь будет влиять на увлажненность, питательный режим и восстановление растительного покрова.

Колеи с наименьшими показателями ширины и глубины образуются при 4 проходах форвардера (81 и 10 см соответственно). С увеличением числа проездов до 8 раз, размеры колей меняются не значительно ($p > 0,05$), и составляют в среднем (94 и 11 см), что связано с легким гранулометрическим составом верхних горизонтов почвы. В то же время, увеличение числа проходов до 10 раз приводит к резкому увеличению глубины колей (до 26 см) за счет продавливания гусениц в оглеенный горизонт Cg, тогда как ширина колей не меняется. Различия между глубиной колеи при 4 и 10 проходов груженой техники доказаны ($p < 0,05$).

При разном числе проездов форвардера, на дневную поверхность дна колеи при непосредственном контакте с ней движетеля выносятся компоненты различных горизонтов. Проведя почвенное опробование, определили 6 типов сложения почвенных горизонтов. При 4-кратном проезде форвардера на дне колеи чаще всего (54 % случаев) образуется смешенный горизонт толщиной до 12 см, состоящий из лесной подстилки, иногда с примешенным подзолистым горизонтом, растительностью и детритом. В ряде случаев колея формируется простым придавливанием лесной подстилки и растительности с порубочными остатками.

При 8-ми проходах форвардера на 1/3 точек опробования на дне колеи также встречается смешенный органогенно-минеральный горизонт, к которому примешивается масса иллювиального горизонта BFH. Характерным становится привнос почвы (половина случаев опробования), чаще среднесуглинистого гранулометрического состава (горизонт Cg), налипающего на гусеницы. Появляются участки дна колеи, оголенные до оглеенного горизонта Cg. Подобные участки дна колей, чередующиеся с наносом массы горизонта Cg, преобладают при 10-кратных проходах форвардера.

Строение дна колей отражается на свойствах его толщи (0-20 см) – плотности сложения и полевой влажности. Ближе к дневной поверхности (толща 0-10) в дне колеи наблюдается закономерное повышение уплотненности и увлажненности почвы по сравнению с нативной почвой с ненарушенным строением на пасеке. Причем, заметного увеличения плотности сложения при 10-кратном числе проездов (по сравнению с 8-кратным) не наблюдается, тогда как влажность слоя повышается в 3 раза. В толще 10-20 см уплотнение почвы, связанное с числом проездов, сохраняется, но при этом наблюдается эффект снижения полевой влажности, что скорее всего связано с выдавливанием влаги в верхнюю толщу. Продавливанию в нижнюю толщу препятствует тяжелосуглинистая морена.

Таким образом, при лесоразработках в условиях низкобонитетных насаждений севера, произрастающих на подзолистых почвах с двучленными отложениями, именно почвенные свойства и строение почвообразующих пород должны определять выбор технологии и подбор техники, а также максимально допустимое число проездов по волокам. Для этих условий можно считать ограничением 8-кратное число проездов (по непокрытым порубочным остаткам почве). Увеличение числа проездов провоцирует захват гусеницами оглеенного горизонта, вынос его на дневную поверхность и способствует нарушению водно-воздушного режима почв, что будет ограничивать восстановление растительности при реновации почвенного покрова.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Президента РФ для молодых ученых – кандидатов наук в рамках проекта МК-2622.2021.5.

ЛИТЕРАТУРА

1. Катаров В.К., Сюнёв В.С., Ратькова Е.И., Герасимов Ю.Ю. Влияние форвардеров на лесные почво-грунты // Resources and Technology. 2012. № 9(2). С. 73–81.
2. Мохирев А.П. Методика выбора лесозаготовительных машин под природно-климатические условия // Лесотехнический журнал. 2016. №4. С. 208–216.
3. Cambi M., Certini G., Fabiano F., Foderi C., Laschi A., Picchio R. Impact of wheeled and tracked tractors on soil physical properties in a mixed conifer stand // iForest. 2015. No. 9. P. 89–94.
4. Shabani S. Modelling and mapping of soil damage caused by harvesting in Caspian forests (Iran) using CART and RF data mining techniques // Journal of Forest Science. 2017. No. 63. P. 425–432.
5. Sirén M., Ala-Ilomäki J., Lindeman H., Uusitalo J., Kiilo K.E.K., Salmivaara A., Ryynänen A. Soil disturbance by cut-to-length machinery on mid-grained soils. Silva Fennica. 2019. V. 53(2). P. 1–24.

THE IMPACT OF LOGGING MACHINES ON SOILS: SETTING UP A MONITORING EXPERIMENT

A.S. ILINTSEV, S.A. RAI, E.A. RAI, E.N. NAKVASINA

Key words: *clear-cutting, logging machines, skid trails, soil disturbance, ruts, soil properties*

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ДИНАМИКИ N_2O И CO_2 НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДСКОГО ЛЕСА В Г. МОСКВА

Е.М. ИЛЮШКОВА, М.В. ТИХОНОВА, С.Ю. ЕРМАКОВ

Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва

Ключевые слова: *влажность почвы, городской лес, древостой, Лесная экосистема, почвенные потоки CO_2 и N_2O, температура почвы, экология леса*

В настоящее время на окружающую среду оказывается сильное антропогенное воздействие, которое может привести к всемирной экологической катастрофе. Главными проблемами являются: глобальное изменение климата, сокращение биологического разнообразия, вырубка и загрязнение лесов, кризис ресурсов пресной воды, загрязнение сред обитания химическими и токсическими веществами, истощение озонового слоя и многие другие. Леса – это легкие городских территорий. На нашей планете, они занимают большую часть суши и образуют крупнейшие экосистемы. В России около 800 млн. га занимают леса, что составляет 45% территории страны. Роль леса огромна. Это сложная многокомпонентная система, участвующая в круговоротах, происходящих в биосфере, атмосфере, педосфере и гидросфере. В последнее десятилетие остро стоит проблема состояния и устойчивости лесных экосистем в черте города, особенно в крупнейшем мегаполисе Европы – Москва. Состояние древостоя влияет на его способность улавливать большое количество вредных веществ, регулировать влажность воздуха в районе, удерживать экологическую обстановку на благоприятном уровне (Тихонова, 2015).

Наблюдения проводились на территории Лесной опытной дачи РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Она является фоновым объектом для экологического мониторинга в северной части г. Москва. Ключевые участки расположены по трансекте с северо-востока на юго-запад, различаются вариантами мезорельефа, древесной и напочвенной растительностью, а также различным уровнем антропогенной нагрузки. Ключевые участки заложены на различных вариантах мезорельефа: участок № 3 расположен на выположенной вершине моренного холма – ВМХ и является автоморфной системой с глубоким залеганием грунтовых вод. Исследуемые участки №1 и №2 заложены на прямом слабопокатом коротком склоне моренного холма северо-восточной экспозиции: в средней – 2 (ССВ), и в нижней части склона 1 (ПСВ). Участки №4 и №5 расположены на противоположном пологом склоне повышенной длины юго-западной экспозиции: в средней и нижней части склона слабовогнутой формы (СЮЗ и ПЮЗ) (Тихонова и др., 2018; Тихонова и др., 2014).

При выполнении данной работы использовались полевые и лабораторные методы. Определение температуры происходило с использованием почвенного термометра (Checktemp), а влажности – почвенного влагомера (Thetaprobe P 14 26), верхних почвенных горизонтов в непосредственной близости от напочвенных экспозиционных камер в 3-х кратной повторности, для вычисления средних значений. С помощью экспозиционных камер происходил отбор почвенной эмиссии CO_2 и N_2O. При лабораторных исследованиях осуществлялось определение влажности термостатно-весового метода (ГОСТ 28268-89), а также анализ образцов почвенной эмиссии CO_2 и N_2O на газовом хроматографе «Хроматек Кристалл 5000». Мониторинговые наблюдения за температурой, влажностью почвы и потоками CO_2 и N_2O проводились подекадно с 2019 года по настоящее время (Тихонова и др., 2013).

За период исследований удалось определить максимальное, минимальное и среднее значение температуры почвы. Минимальное значение отмечается на ключевом участке №2

(ССВ) – 1.3 °С (январь 2020 года). Максимальное значение показателя составляет 20.3 °С – ключевой участок №4 (СЮЗ) в июле 2021 года. Среднее значение температуры почвы за период наблюдений – 11.3 °С.

Относительно полученных данных по влажности минимальное значение – 2.96 %, выявленное в августе 2020 года на ключевом участке №2 (ССВ). Среднее значение влажности на объекте исследования составляет 22.75 %. Максимальная влажность почвы характерна для ключевого участка №5 (ПЮЗ) – 71.64 % в октябре 2019 года. Потому что в 2019 году отмечает обилие осадков по сравнению со среднемноголетними значениями.

Средние значения потоков почвенной эмиссии CO_2 по трансекте наблюдались 4.83 поток мг CO_2/м^2 день. Максимальное значение выявлено на ключевом участке № 4 (СЮЗ) – 24.30 поток мг CO_2/м^2 день (сентября 2019), при температуре почвы 14,6 °С. Минимальное – 1.055 поток мг CO_2/м^2 день в августе 2021 года на ключевом участке №2 (ССВ), где значение температуры почвы – 9.5 °С.

За период исследований осуществлялся мониторинг за почвенной эмиссией N_2O. Максимальная эмиссия N_2O мг/м^2 в день – 1.066 (июль 2021) на ключевом участке №2 при значении влажности 19.8 %. Минимальное значение характерно для ключевого участка №5 – 0.107 мг/м^2 в день (июль 2019), где значение влажности почвы – 24.67 %. Средним значением является 0.374 мг/м^2 в день.

Полученные значения по температуре и влажности почвы варьируют в зависимости от рельефа. Основным фактором, влияющим на поток N_2O является влажность почвы, а для потока CO_2 – температура почвы.

Выражается благодарность соавторам за конструктивные советы и помощь в проведении исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тихонова М.В., Васенев И.И., Экологическая оценка потоков углекислого газа в условиях лесных экосистем // Доклады ТСХА - Выпуск 290 Ч. 4. С. 407–409.
2. Тихонова М.В., Визирская М.М., Епихина А.С., Мазиров И.М. Экологическая оценка лесных экосистем к рекреационной нагрузке в условиях Московского мегаполиса (на примере Лесной опытной дачи РГАУ-МСХА) // Агроэкология. 2014. № 2. С. 14–21.
3. Тихонова М.В. Экологическая оценка пространственно-временной изменчивости почвенной эмиссии N_2O и CO_2 из дерново-подзолистых почв представительной лесной экосистемы Московского мегаполиса: дисс. на соиск. уч. степ. канд.биол.наук. Москва, 2015. 140 с.
4. Тихонова М.В., Епиина А.С., Визирская М.М., Васенев И.И., В. Риккардо. Экологическая оценка пространственно-временной изменчивости почвенной эмиссии N2O на лесном участке природного заказника "Петровско-Разумовское" // Вестник РУДН, серия Агрономия и животноводство. 2013. № 5. С. 93–104.

ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF THE DYNAMICS OF N2O AND CO2 IN THE URBAN FOREST IN MOSCOW

E.M. ILYUSHKOVA, M.V. TIKHONOVA, S.Y. ERMAKOV

Key words: *лесная экосистема, влажность почвы, древостой, экология леса, температура почвы, почвенные потоки CO_2 и N_2O, городской лес*

БИОЛОГИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЧВ

К.Ш. КАЗЕЕВ

Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону

Ключевые слова: *биоиндикация, биологическая активность почв, лесной пожар, ненарушенные лесные экосистемы, сплошная рубка*

Лесные экосистемы играют огромную роль в биосферных процессах, определяя цикл органического углерода и газовый состав атмосферы. В свою очередь биологическое разнообразие и продуктивность лесов зависят от условий окружающей среды и определяют биологическую активность лесных почв. В целом почвенная биота и биологическая активность лесных почв имеет существенное отличие от почв травянистых экосистем лугов и степей. Чаще всего лесным почвам присуща «прижатость» биологических процессов к поверхности почв, что определяется характером корневой системы деревьев и поступлением растительных остатков преимущественно на поверхность почвы. В результате в бореальных лесах формируется лесная подстилка, состав и мощность которой определяется типом лесной растительности и интенсивностью биологических процессов, которые в свою очередь тесно связаны с климатическими особенностями территории (Orlov et al., 2004). Роль лесной подстилки выходит далеко за рамки регулирования органического вещества в почвах, она в значительной степени определяет физические, химические и биологические свойства лесных почв (Bogatyrev, 1996). Минеральные горизонты лесных почв, чаще всего, значительно меньше заселены живыми организмами и обладают низкой биологической активностью, особенно если почва здесь имеет неблагоприятные свойства: высокая кислотность, оглеенность, бедность питательными элементами и т. д. (Вальков и др., 2008). Однако на Кавказе обнаружены почвы, которые имеют отличное от других лесных почв профильное распределение биоты и биологической активности. Дерново-карбонатные и коричневые субтропические почвы Западного Кавказа имеют высокую биологическую активность верхних горизонтов и достаточно плавно уменьшающееся распределение значений биологических параметров по всему профилю. Это связано с отсутствием значительной дифференциации физических и химических свойств этих почв (Казеев и др., 2015).

Биологическая активность почв тесно связана с гумусным состоянием почв и гидротермическими условиями (Орлов, Бирюкова, 1984; Казеев и др., 2015а, б). В связи с этим биологические параметры почв имеют свои особенности в каждой природной зоне и подчиняются закону зональности (Казеев и др., 2015а, б).

Биологические показатели часто используются как чувствительные индикаторы здоровья и качества почвы и степени ее деградации при антропогенных воздействиях. Несмотря на длительные поиски до сих пор не найдено какого-либо одного показателя, исследуя который можно было бы делать вывод о биологическом состоянии почвы в целом. Биологическая диагностика почв является важной составляющей как локального, так и глобального мониторинга. Так же, как и другие среды обитания, почву исследуют с помощью биологических показателей. Микробное разнообразие и биохимические показатели – важные индикаторы состояния почвы, поскольку они вовлечены в разложение органических веществ и поддержании устойчивого функционирования почв. Большая сложность в использовании большинства биологических показателей связана с их значительной пространственной и временной изменчивостью. Часто значения биологических параметров почв, полученные в разные годы (сезоны, месяцы и даже дни), не согласуются друг с другом.

Варьирование биологических показателей требует большого числа повторностей, как полевых, так и аналитических.

Проведенная в последние годы биологическая диагностика лесных почв юга России выявила некоторые закономерности реакции биологических показателей на различные деградационные процессы. Было выявлено, что исследование только верхних горизонтов почв без учета всего почвенного профиля, в ряде случаев не позволяет делать корректные выводы. Это относится к послелесным почвам вырубок и горным лесным почвам, подверженным эрозионным процессам (Казеев и др., 2021). Пожары и рекреационное нарушение почв затрагивает, в первую очередь, поверхностные слои почв (Kazeev et al., 2019, 2020; Вилкова и др., 2021), поэтому при их исследовании в большинстве случаев можно ограничиться изучением верхнего наиболее биогенного слоя. При исследовании последствий пожаров важно отбирать значительное количество почвенных образцов вследствие значительной вариабельности постпирогенных свойств. Наилучшим образом в биодиагностике проявили себя биохимические показатели, прежде всего ферментативная активность. Разнообразие и богатство ферментов делают возможным осуществление последовательных биохимических превращений, поступающих в почву органических остатков (Luo et al., 2014; Казеев и др., 2016). Активность ферментов можно применять в оценке экологического состояния почв и его изменения в результате антропогенного воздействия (Papp et al., 2018; Raiesi et al., 2018; Kolesnikov et al., 2021). Применению ферментативной активности в качестве диагностического показателя способствуют низкая ошибка опытов (не более 5–8%) и высокая устойчивость ферментов при хранении образцов (Даденко и др., 2009, 2013).

Работа выполнена при государственной поддержке ведущей научной школы Российской Федерации (НШ-2511.2020.11).

ЛИТЕРАТУРА

1. Вальков В.Ф., Казеев К.Ш., Колесников С. И. Почвы Юга России. Ростов-на-Дону: Изд-во Эверест, 2008. 276 с.
2. Вилкова В.В., Казеев К.Ш., Шабунина В.В., Колесников С.И. Ферментативная активность постпирогенных почв заповедника «Утриш» // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. 2021. № 138. С. 71–77.
3. Даденко Е.В., Денисова Т.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Оценка применимости показателей ферментативной активности в биодиагностике и мониторинге почв // Поволжский экологический журнал. 2013. № 4. С. 385–393.
4. Даденко Е.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф. Изменение ферментативной активности почвенных образцов при их хранении // Почвоведение. 2009. № 12. С. 1481–1486.
5. Казеев К.Ш., Гайдамакина Л.Ф., Овдиенко Р.В., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Зональная изменчивость почв Северного Кавказа // Известия РАН. Серия географическая, 2006. № 5. С. 36–45.
6. Казеев К.Ш., Козунь Ю.С., Колесников С.И. Использование интегрального показателя для оценки пространственной дифференциации биологических свойств почв юга России в градиенте аридности климата // Сибирский экологический журнал. 2015а. Т. 22. № 1. С. 112–120.
7. Казеев К.Ш., Козунь Ю.С., Самохвалова Л.С., Колесников С.И. Влияние аридности и континентальности климата на биологические свойства почв в трансекте Ростов-на-Дону -

Астрахань // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2015б. № 5. С. 46–53.
8. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Акименко Ю.В., Даденко Е.В. Методы биодиагностики наземных экосистем. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2016. 356 с.
9. Казеев К.Ш., Солдатов В.П., Шхапацев А.К., Шевченко Н.Е., Грабенко Е.А., Ермолаева О.Ю., Колесников С.И. Изменение свойств дерново-карбонатных почв после сплошной рубки в хвойно-широколиственных лесах Северо-Западного Кавказа // Лесоведение, 2021. № 4. С. 426–436.
10. Казеев К.Ш., Черникова М.П., Колесников С.И., Быхалова О.Н. Почвенный покров заповедника «Утриш». Ростов-на-Дону: Изд-во Южного федерального университета, 2015. 104 с.
11. Орлов Д.С., Бирюкова О.Н.Гумусное состояние почв как функция их биологической активности. // Почвоведение. 1984. № 8. С. 39–49.
12. Русанов А.М.Гумусное состояние черноземов уральского региона как функция периода их биологической активности // Почвоведение. № 3. С. 302–308.
13. Bogatyrev L.G. Formation of forest litter as one of the major processes in forest ecosystems // Eurasian Soil Science. T. 29. № 4. C. 459–468.
14. Kazeev K.Sh., Odabashian M.Yu., Trushkov A.V., and Kolesnikov S.I. Assessment of the Influence of Pyrogenic Factors on the Biological Properties of Chernozems // Eurasian Soil Science. 2020. Vol. 53. № 11. P. 1610–1619.
15. Kazeev Sh., Poltoratskaya T.A., Yakimova A.S., Odobashyan M.Yu., Shkhapatsev A.K., Kolesnikov S.I. Post-fire changes in the biological properties Of the brown soils in the Utrish state nature reserve (Russia) // Nature Conservation Research. Заповедная наука 2019. V. 4(Suppl.1). P. 93–104.
16. Kolesnikov S., Tsepina N., Minnikova T., Kazeev K., Mandzhieva S., Sushkova S., Minkina T., Mazarji M., Singh R.K., Rajput V.D. Influence of Silver Nanoparticles on the Biological Indicators of Haplic Chernozem // Plants. 2021. V. 10. P. 1022.
17. Luo, Meng H., Gu J.D. Microbial extracellular enzymes in biogeochemical cycling of ecosystems // Journal of Environmental Management. 2017. V. 197. No. 15. P. 539–549.
18. Orlov D.S., Biryukova O.N., Rozanova M.S. Revised system of the humus status parameters of soils and their genetic horizons // Eurasian Soil Science. 2004. V. 37. No. 8. P. 798–805.
19. Papp, Marinari S., Moscatelli M.C., van der Heijden M.G.A., Wittwer R., Campiglia E., Radicetti E., Mancinelli R., Pearce B., Bergkvist G., Finckh M.R. Short-term changes in soil biochemical properties as affected by subsidiary crop cultivation in four European pedo-climatic zones // Soil and Tillage Research. 2018. V.180. P. 126–136.
20. Raiesi F., Salek-Gilani S. The potential activity of soil extracellular enzymes as an indicator for ecological restoration of rangeland soils after agricultural abandonment // Applied Soil Ecology. 2018. V.126. P.140–147.

BIOLOGICAL ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL CONDITION OF FOREST SOILS

K.Sh. KAZEEV

Key words: *bioindication, biology activity, undisturbed forest ecosystems, wildfire, clear-felling*

УСТОЙЧИВОСТЬ ВОДОРАСТВОРИМЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ ЛЕСНЫХ ПОДСТИЛОК В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИХ СВОЙСТВ И СОСТАВА РАСТИТЕЛЬНЫХ ОСТАТКОВ

Е.И. КАРАВАНОВА, Д.Ф. ЗОЛОВКИНА

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

Ключевые слова: *водорастворимые органические вещества, лесные подстилки, минерализация, почвы, РОВ, устойчивость, фенольные соединения*

На территории России потепление климата происходит примерно в 2,5 раза интенсивнее, чем в среднем по земному шару: в период 1976–2016 гг. рост среднегодовой температуры составил 0,45 °С/10 лет, а осадков – 2,1 %/10 лет (Доклад о климатических рисках на территории РФ, 2017). К концу XXI века повышение температуры может составить от 3-4 °С до 7-8 °С, количества осадков (по сравнению с 1986–2005 гг) – 61 мм (Замолодчиков, Краев, 2016). Прогнозируется существенное изменение границ и ареалов растительности, при этом леса, особенно темнохвойные и сосновые средней и южной тайги, содержащие огромные запасы углерода в составе лесных подстилок, относятся к числу фитоценозов, наиболее чувствительных к изменению климата (Голубятников, Денисенко, 2009). Вероятными последствиями для средней и северной части России может быть расширение площадей листопадных лесов и сокращение хвойных, граница которых может сместиться к северу в зону лесотундры. Изменение качества и количества детрита будет оказывать влияние на свойства водорастворимых органических веществ (ВОВ), что может повлиять на устойчивость органического вещества почв в целом. В тех почвах, где образуются более лабильные ВОВ, их быстрая минерализация может привести к ускорению разложения органического вещества (ОВ) твердой фазы (гумуса и подстилок). В связи с этим изучение влияния состава растительных остатков и свойств ВОВ на показатели их минерализуемости является актуальной задачей.

Объектами исследования были ВОВ, извлеченные в водные вытяжки, из подстилок разного состава. Использовали 4 типа подстилок: представленных смешанным опадом ели и березы в разном соотношении (с преобладанием листьев березы, ЕлБ и преобладанием хвои ели, БЕ), опадом сосны (С) и остатками сфагнума разной степени разложенности (Сф). Динамику минерализации ВОВ изучали манометрическим методом с помощью автоматической системы контроля потребления кислорода Oxitop OC 110, при температуре 200 °С в темноте в течение 40-60 дней. Полученные зависимости относительных количеств минерализованного углерода (Смин, %) от времени параметризировали биэкспоненциальным уравнением (Qualls, Haines, 1992, Kalbitz et al, 2003).

Все изученные ВОВ имеют период полуразложения (t1/2) меньше 1 года и относятся к быстроразлагаемым. Компоненты стабильной фракции ВОВ из ЕлБ подстилки разлагаются быстрее остальных (константа скорости разложения kst =0,015 сут$^{-1}$), но доля Смин (33 %) в сравнении с другими ВОВ (47-58 %) самая низкая. Это объясняется дефицитом лабильной фракции (18 %, у ВОВ из остальных подстилок 27-50 %), из-за чего разложение более стабильных веществ ускоряется, но так как они количественно преобладают, ВОВ из ЕлБ подстилки в среднем более устойчивы и минерализуются медленнее. Максимально устойчива стабильная фракция ВОВ Сф подстилки с t1/2 =3,9 мес (t=200 °С). Выявлен ряд связей между свойствами ВОВ и их устойчивостью к разложению. Скорость разложения стабильной фракции (kst) обратно коррелирует с отношением C/N и флуоресцентным индексом HIX, являющимся показателем степени гумифицированности ОВ: коэффициенты Спирмана r = -0,62 и -0,55 (p <0,05). Также найдена значимая прямая связь kst с содержанием

N (r=0,54, p <0.05). Эти факторы, являются универсальными для всех ВОВ, вне зависимости от состава подстилки, так как связи выявлены для всей выборки (n=12). Вместе с тем статистический анализ показал, что изученная выборка по ряду показателей свойств ВОВ неоднородна и может быть разделена на две части: с более высокой (8,6-12,2 %) и более низкой (2,2-8,6 %) долей фенольных соединений (ФС) в составе ВОВ. В первую группу попали ВОВ преимущественно из Сф и С подстилки, во вторую – из смешанных подстилок (БЕ и ЕлБ). Было обнаружено, что влияние ФС на устойчивость ВОВ зависит от их относительной доли. Для ВОВ с высокой долей ФС (из С и Сф подстилок) получены следующие корреляции, значимые с p <0,05: доля стабильной фракции (Stab),% – содержание N (r = -0.93), Stab,% – содержание ФС,% (r = 0,83), Смин, % – содержание N (r = -0.75), Смин, % – содержание ФС, % (r = -0,81). Таким образом, большая доля ФС и меньшее содержание N являются факторами, увеличивающими устойчивость ВОВ. Для выборки, объединяющей ВОВ из подстилок смешанного состава с низкой долей ФС, были получены, наоборот, прямые корреляции между количеством ФС (абсолютным и относительным) и Смин, % (r = 0,89 и 0,93), а также обратные связи: доля лабильной фракции C/N (r = -0,83) и kst-HIX (r = -0,94). Абсолютное содержание ФС прямо коррелирует, хотя и с меньшим уровнем значимости (p <0,10), с долей лабильной фракции (r = 0,75-0,77). Поэтому ВОВ из подстилок, представленных опадом ели и березы, будут более устойчивы при больших значениях отношения C/N и степени гумификации, а их ФС лабильны и увеличивают долю Смин. ФС в природе могут выступать и ингибиторами, и стимуляторами минерализации, регулируя скорость разложения ОВ во избежание создания дефицита азота в экосистеме (Min, Freeman et al, 2015). В данном случае ФС из подстилок смешанного состава лабильны и могут обеспечивать затравочный эффект, провоцируя минерализацию более стабильного ОВ. В условиях более высокой температуры часть ФС разрушается (Караванова, Одинцов, 2018), поэтому потепление может сильнее уменьшить устойчивость ВОВ из сосновой и сфагновой подстилки, чем из смешанной.

Выводы:

1) Состав растительных остатков незначительно влияет на устойчивость ВОВ: все вещества имеют период полуразложения менее года. Наиболее устойчивы стабильные компоненты ВОВ сфагновой подстилки и ВОВ елово-березовой подстилки в целом за счет более высокой доли стабильной фракции.

2) Устойчивость ВОВ к минерализации растет с уменьшением содержания в нем N, увеличением значений C/N и индекса гумификации. Характер влияния ФС зависит от их относительного содержания. При высокой доле (>8,6 %) они способствуют сохранению ВОВ, при более низкой – лабильны и увеличивают долю минерализованного углерода.

Работа выполнена в рамках госзадания №121040800154-8 (Роль органоминеральных взаимодействий в цикле углерода и экологической устойчивости почв и сопредельных сред) и при финансовой поддержке РФФИ, проект № 19-29-05028.

ЛИТЕРАТУРА

1. Голубятников Л.Л., Денисенко Е.А. Влияние климатических изменений на растительный покров Европейской России // Изв. РАН. Серия географическая. 2009. № 2. С. 57–68.
2. Доклад о климатических рисках на территории РФ. Санкт-Петербург. 2017. 106 с.
3. Замолодчиков Д.Г., Краев Г.Н. Влияние изменений климата на леса России: зафиксированные воздействия и прогнозные оценки // Устойчивое лесопользование. 2016. №4 (48). С. 24–31.

4. Караванова Е.И., Одинцов П.Е. Влияние температуры на устойчивость водорастворимых органических веществ из подстилок подзолистых почв // В сборнике Материалы 7 Всероссийской научной конференции с международным участием «Гуминовые вещества в биосфере». Макс Пресс. МГУ. Москва. С. 43–44.
5. Min K., Freeman C., Hojeong K., Sung-Uk Choi. The regulation by phenolic compounds of soil organic matter dynamics under a changing environment // BioMed Research International. 2015. V. 2015, Article ID 825098, 11 p.
6. Qualls R.G., Haines B.L. Biodegradability of dissolved organic matter in forest throughfall, soil solution, and stream water// Soil Sci. Soc. Am. J. 1992. V. 56. P. 578-586.
7. Kalbitz K., Schmerwitz J., Schwesig D., Matzner E. Biodegradation of soil-derived dissolved organic matter as related to its properties// Geoderma. 2003. 113. P.273–291.

STABILITY OF WATER-SOLUBLE ORGANIC SUBSTANCES OF FOREST LITTER, DEPENDING ON THEIR PROPERTIES AND THE COMPOSITION OF PLANT RESIDUES.

E.I. KARAVANOVA, ZOLOVKINA D.F.

Key words: *soil, water-soluble organic matter, WEOM, DOM, forest litter, mineralization, stability, phenolic compounds*

СОЗДАНИЕ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА ДЛЯ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЧВ

В.Н. КАРМИНОВ[1], О.В. МАРТЫНЕНКО[2], П.В. ОНТИКОВ[3], А.Н. МАКСИМОВА[4]

[1]Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов Российской академии наук, г. Москва
[2]ФАУ ДПО Всероссийский институт повышения квалификации руководящих работников и специалистов лесного хозяйства, г. Пушкино
[3]Филиал ФГБУ «Рослесинфорг» «Центрлеспроект», г. Ивантеевка
[4]ФГОУ ВО Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Мытищи

Ключевые слова: *лесные почвы, цифровая модель рельефа, цифровая почвенная картография*

Результаты радарной топографической съёмки уже достаточно давно находит самое широкое применение в естественно-научных исследованиях (Соколов и др., 2010; Кошелев, 2018). Данные проекта SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) доступны для всей территории Земли (за исключением самых северных и самых южных широт) и распространяются в виде сетки с размером ячейки 3 угловых секунды. Для решения задач почвенной картографии информация о рельефе является критически важной, однако точность отображения рельефа на доступных для свободного использования топографических картах оставляет желать лучшего. В этой связи ценность данных SRTM сложно переоценить. Точность определения высотных отметок в проекте SRTM для равных территорий исследователями оценивается в пределах 3…6 метров (Фарбер и др., 2013).

Однако в сфере лесного почвоведения использование данных STRM сопряжено с определёнными сложностями. Дело в том, что для лесопокрытых территорий с достаточно высокой сомкнутостью крон, данные STRM содержат высотные отметки не поверхности земли, а отметки лесного полога. Это ситуация приводит к тому, что вырубки, просеки, гари и прочие участки, лишённые лесного полога и имеющие площадь, сравнимую с разрешением радарной съёмки будут отображаться в виде ложбин, которых фактически не существует. Поэтому данные SRTM, которые предполагается привлечь для построения цифровой модели рельефа (ЦМР), нуждаются в корректировке.

Исходя из указанной выше особенности радарной съёмки, для лесных территорий некоторые исследователи оценивают высоту насаждений (Черниховский, Алексеев, 2018). Для этого производится сравнение данных SRTM и результаты крупномасштабной съёмки рельефа.

В нашей работе целью является решение обратной задачи. Как правильно, при почвенной съёмке лесных территорий имеется возможность использовать производственные лесоустроительные материалы, которые содержат информацию о пространственном распределении насаждений и их средней высоте. Таким образом, основываясь на информации о насаждениях, появляется возможность корректировать данные SRTM.

Разработанная методика включает в себя следующие основные этапы:

- получение маски лесов на основании векторной повыдельной базы лесоустройства и её актуализация. Актуализация данных включает в себя как корректировку средних высот насаждений, если материалы лесоустройства имеют возраст более 3…5 лет, так визуальное нахождение территорий, которые утратили лесной покров после проведения лесоустройства. Учитывая пространственное разрешение радарной съёмки в работу целесообразно включать лесные выдела площадью более 2 га;
- непосредственно корректировка данных SRTM для репрезентативных участков леса с учётом средней высоты древостоя;

- верификация полученных данных на основе цифровых моделей рельефа, полученных на основе оцифровки доступных топографических карт из открытых источников. Расчёт коэффициента корреляции для двух наборов пространственных данных (скорректированные данные SRTM и ЦМР, полученная на основе топографических карт).

Таким образом, используя указанные подходы, планируется получение более точной цифровой модели рельефа, которая может быть использована в почвенной картографии и моделировании. В настоящее время по представленной выше методике авторами проводится работа по созданию ЦМР части территории Московского учебно-опытного лесничества.

Исследование выполнено в рамках государственного задания ЦЭПЛ РАН АААА-А18-118052590019-7 при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект №19-77-30015).

ЛИТЕРАТУРА

1. Кошелев А.В. Цифровое картографирование почв с использованием данных SRTM / А.В. Кошелев // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 4(52). С. 159–166.
2. Соколов Л.А. Использование возможностей модели srtm (shuttle radar satellite mission) в анализе рельефа как фактора почвообразования (на примере Брянского лесного массива) / Л.А. Соколов, Г.В. Лобанов, А.В. Полякова // Вестник Брянского государственного университета. 2010. № 4. С. 237–243.
3. Фарбер С.К. Перспективы использования данных SRTM для решения лесных научно-практических задач / С. К. Фарбер, Н. С. Кузьмик, Н. В. Брюханов // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2013. – Т. 3. – № 4. – С. 85-88.
4. Черниховский Д.М. Оценка возможностей применения данных радарной топографической съёмки SRTM для определения высот насаждений / Д.М. Черниховский, А.С. Алексеев // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: Материалы третьей международной научно-технической конференции, Санкт-Петербург, 23–24 мая 2018 года / Под редакцией В.М. Гедьо. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, 2018. С. 55–57.

CREATING A DIGITAL ELEVATION MODEL FOR MAPPING FOREST SOILS

V.N. KARMINOV, O.V. MARTYNENKO, P.V. ONTIKOV, A.N. MAXIMOVA

Key words: *forest soils, digital soil cartography, digital elevation model*

БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ВЕРХНЕГО СЛОЯ ПОЧВЫ ХВОЙНЫХ ЛЕСОВ ПЕЧОРО-ИЛЫЧСКОГО ЗАПОВЕДНИКА

А.К. КВИТКИНА[1], Д.М. ДУДАРЕВА[2], Н.С. СМИРНОВ[2]

[1]Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, г. Пущино
[2]ФГБУ Печоро-Илычский государственный заповедник, пос. Якша

Ключевые слова: *дыхание почв, лесная подстилка, микробная биомасса, субстрат-индуцированное дыхание*

Лесные подстилки – «горячие точки» преобразования органических веществ, определяющие процессы концентрирования и рассеивания элементов, их миграцию, аккумуляцию и перераспределение в лесных экосистемах. В работе оценивали биологическую активность и биомассу микробного сообщества, обуславливающего трансформацию органического вещества на границе «почва-подстилка» некоторых типов еловых лесов Печоро-Илычского заповедника, а также их связь с составом растительных сообществ. В образцах верхнего слоя почвы 0-5 см и слоях подстилки F и H определяли показатели биологической активности, базальное дыхание почв и микробную биомассу методом субстрат-индуцированного дыхания, ферментативную активность определяли методом меченых субстратов. Исследовали активность следующих ферментов: фосфатаза, хитиназа, глюкозидаза, лейцинаминопептидаза. В результате была обнаружена корреляция между видовым богатством растительного сообщества и показателями микробной активности почвы. Почвы выстроили в ряд по мере уменьшения микробной биомассы в верхнем слое почвы 0-5 см: мелкотравно-зеленомошный ельник ≥ бореальновысокотравный ельник > кустарничково-долгомошный ельник > чернично-зеленомошный ельник > крупнопапоротниковый ельник. По размеру микробной биомассы и активности экзоферментов подразделялись на две группы: высокоактивные (мелкотравно-зеленомошный и бореально-высокотравный ельник) и низкоактивные (кустарничково-долгомошный, чернично-зеленомошный, крупнопапоротниковый ельник). Биомасса микробов оказалась тесно связана с видами (*Aconitum septentrionale* Koelle, *Crepis paludosa* (L.) Moench, *Rubus saxatilis* L., *Thalictrum minus* L., *Valeriana officinalis* L., *Filipendula ulmaria* (L.) *Geranium* spp., *Paris quadrifolia* L.). Присутствие этих видов травянистого покрова коррелирует с повышением pH почвы, увеличением содержания Ca, Mg и S в почве и уменьшение содержания Si и Ti. Высокое содержание данных элементов, высокая микробиологическая и ферментативная активность, высокая надземная травянистая биомасса указывают на ускоренный биологический круговорот в высокотравном сообществе. Таким образом, содержание микробной биомассы, S, Ca, Mg, pH, микробиологическая активность почв увеличивались вместе в направлении бореального высокотравного сообщества и в сторону увеличения биологического разнообразия в травяном сообществе.

Финансирование: проект 20-04-00343 «Индикация стрессов в почвах и наземных экосистемах при помощи показателей экологической стехиометрии C:N:P»

ЛИТЕРАТУРА

1. Бобкова К.С., Галенко Э.П., Загирова С.В., Патов А.И., Сенькина С.Н., Машика А.В. Коренные еловые леса предгорного ландшафтного района Печоро_Илычского заповедника // Труды Печоро_Илычского заповедника. Сыктывкар, 2005. Вып. 14. С. 19–24.

2. Восточноевропейские леса: история в голоцене и современность. М.: Наука, 2004. Кн.1. 479 с.; Кн.2. 575 с.
3. Смирнов Н.С. Типологическое и видовое разнообразие темнохвойных лесов нижнего течения реки Б.Порожняя (приток р.Печоры, Печоро-Илычский заповедник) // Экология. 2013. №1. С. 30-38.
4. Смирнов Н.С., Браславская Т.Ю. Растительность темнохвойных лесов нижней части бассейна р. Большая Порожняя (приток р. Печора) // Труды ПечороИлычского заповедника. Сыктывкар, 2010. Т. 16. С. 149–156.
5. Почвы и почвенный покров Печоро-Илычского заповедника (Северный Урал) / Отв. Ред. С.В. Дегтева и Е.М. Лаптева. Сыктывкар, 2013. 328 с
6. Углерод в лесных и болотных экосистемах особо охраняемых природных территорий Республики Коми. Коми НЦ УРО РАН. Сыктывкар, 2014. 202 с.
7. Anderson J.P.E., Domsch K.H. A phisiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils // Soil Biol. Biochem. 1978. V. 10. N. 3. P. 215–221.

BIOLOGICAL ACTIVITY OF THE TOP SOIL LAYER OF THE PECHORO-ILYCH RESERVE CONIFEROUS FORESTS

A.K. KVITKINA, D.M. DUDAREVA, N.S. SMIRNOV

Key words: *microbial biomass, soil respiration, forest litter, substrate-induced respiration*

ВЛИЯНИЕ ВИДОВ ЗЕЛЕНЫХ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ НА СВОЙСТВА ЧЕРНОЗЕМОВ СЕГРЕГАЦИОННЫХ КРЫМА

О.Е. КЛИМЕНКО, Н.И. КЛИМЕНКО

Никитский ботанический сад, г. Ялта

Ключевые слова: *зеленые лесные насаждения, свойства почвы, состояние, черноземы сегрегационные*

Создание зеленых лесных насаждений (ЗЛН) в степи – важное звено экологизации территории. ЗЛН в степной зоне создаются в основном из растений, интродуцированных из различных мест земного шара. Успех интродукции будет зависеть от близости новых условий произрастания к тем, из которых растения перенесены в новое местообитание. Поэтому в конкретных экологических условиях важно определить не только реакцию растения на новые условия произрастания, но и их долговечность и устойчивость. Почва, также как и климат, играет решающее значение в адаптации растения к новым экологическим условиям. Кроме того, сами интродуценты – многолетние древесные растения, длительно произрастающие на одном месте, воздействуют на свойства степных почв. Большинство исследований свидетельствует о положительном влиянии лесных пород на свойства степных почв – черноземов (Бельгард, 1977; Травлеев, 1977; Поляков, 2009) и называют черноземы под такими насаждениями лесоулучшенными. Однако, наши исследования показали, что степень и характер изменения свойств степных почв под ЗЛН зависят как от экологических условий местности, так и от конкретной древесной породы (Клименко, Клименко, 2021). В связи с этим более детальные исследования влияния основных паркообразующих видов растений на почву в ЗЛН степного Крыма является весьма актуальными.

Целью исследования было изучить состояние и устойчивость насаждений 7 наиболее распространенных видов древесных интродуцентов в степном Крыму, а также их влияние на свойства черноземов сегрегационных.

Исследования проводили на территории отдела степного садоводства Никитского ботанического сада (с. Новый Сад Симферопольского района Республики Крым). Территория располагается в южной приподнятой части Центрально-Крымской возвышенной пологоволнистой равнины в пределах центрального равнинно-степного агроклиматического района Крыма. Район отличается засушливым климатом с умеренно-жарким вегетационным периодом и мягкой неустойчивой зимой (Антюфеев и др., 2002). В исследование входили 2 хвойные и 5 лиственных наиболее распространенных при озеленении степного Крыма пород: пихта греческая (*Abies cephalonica* Loudon) и плосковеточник восточный (*Platycladus orientalis* (L.) Franco), каркас сетчатый *Celtis laevigata* (Torr.) var. reticulata (Torr.) Benson, маклюра оранжевая (*Maclura pomifera* (Raf.) C.K. Schneid.), платан западный (*Platanus orientalis* L.), софора японская (*Styphnolobium japonicum* (L.) Schott) и ясень пенсильванский (*Fraxinus pennsylvanica* Marshall). Насаждения заложены в 70-х годах прошлого столетия. Растения были посажены группами, схема посадки 4 х 4 м. Контролем служила многолетняя залежь того же возраста.

В результате исследований установлено, что наиболее устойчивые виды – софора японская, каркас сетчатый, пихта греческая, плосковеточник восточный и маклюра оранжевая находятся в хорошем и отличном состоянии, число погибших растений минимально, рост и габитус растений, их зимостойкость и засухоустойчивость значительные. Виды менее устойчивые – платан восточный и ясень пенсильванский имеют удовлетворительное

состояние, суховершинность и меньшую сохранность, страдают от засухи (платан), сухости и высокой плотности почвы (ясень).

Все изученные виды влияли на свойства почвы. Под каркасом сетчатым произошло увеличение содержания $C_{орг}$ по всему гумусовому слою по сравнению с многолетней залежью на 0,15-0,62 %, под другими породами отмечено перераспределение гумуса – увеличение в нижних слоях на фоне некоторого снижения в верхних. Под ЗЛН увеличилась мощность гумусового слоя на 20-40 см, в большей степени под плосковеточником, платаном и каркасом. Под большинством видов карбонаты были выщелочены на глубину 40-80 см. Величина pH также снижалась на 0,13-0,41 ед., максимально под маклюрой и каркасом в слое 60-100 см и зависела от содержания карбонатов в почве (R^2 = 0.779).

Зеленые лесные насаждения увеличивали содержание подвижных форм основных элементов питания в почве по сравнению со степным ценозом, причем содержание нитратного азота имело тенденцию к накоплению в нижних слоях почвы из-за его высокой подвижности, фосфора и калия – в слое 0-40 см, что обусловлено преобладанием поверхностного опада. Хвойные растения: пихта и плосковеточник в меньшей мере накапливали нитратный азот и фосфор, чем лиственные, и снижали содержание калия по всему профилю почвы по сравнению с залежью.

Почвы под залежью и древесными растениями были незасоленными, однако в зависимости от конкретной древесной породы количество и состав легкорастворимых солей менялся. Так под древесными растениями накапливался гипс, который нейтрализовал токсичную щелочность, а также сульфаты магния и натрия; под растениями ясеня отсутствовали хлориды. Под хвойными видами водорастворимые соли имели тенденцию к постепенному накоплению с глубиной, более значительному под пихтой, чем под плосковеточником. Под этими породами появлялся в незначительных количествах хлорид кальция (0,05-0,11 смоль(экв)/кг).

В целом по изменению различных свойств почвы черноземы сегрегационные под изученными ЗЛН можно назвать лесоизмененными, а выщелачивание карбонатов до глубины 60-80 см и снижение pH на 0,2-0,4 единицы может быть диагностическим признаком лесоизмененных черноземов сегрегационных. Для улучшения роста и состояния платана восточного и ясеня пенсильванского в данных климатических условиях, их следует орошать, а под последним проводить периодическое глубокое рыхление для снижения плотности почвы.

Исследование выполнено в рамках темы госзадания Никитского ботанического сада № 0829-2019-0032.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антюфеев В.В, Важов В.И., Рябов В.А. Справочник по климату Степного отделения Никитского ботанического сада. Ялта, 2002. 88 с.
2. Бельгард А.Л. Что такое лесное сообщество в степи // Вопр. степн. лесоразведения и охр. природы. Днепропетровск, 1977. С. 27–32.
3. Травлеев А.П. Ведущие аспекты взаимодействия растительности с почвами в условиях степной зоны // Вопр. степн. лесоразведения и охр. природы. Днепропетровск, 1977. Вып. 7. С. 40–45.
4. Поляков А.К. Интродукция древесных растений в условиях техногенной среды / Под общ. ред. А.З. Глухова. Донецк: Ноулидж, 2009. 268 с.
5. Клименко О. Е., Клименко Н. И. Изменение свойств агрочерноземов сегрегационных Крыма под влиянием различных лесонасаждений // Почвоведение. 2021. № 5. С. 606–619.

INFLUENCE OF SPESIES GREEN FOREST PLANTATIONS ON SOIL PROPERTIES HAPLIC CHERNOZEMS OF CRIMEA

O.E. KLIMENKO, N.I. KLIMENKO

Key words: *green forest plantations, plant condition, soil properties, haplic chernozems*

ЭВОЛЮЦИЯ ФОРМ ГУМУСА ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ В РАЙОНАХ МНОГОЛЕТНЕГО ПРОМЫШЛЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

И.Н. КОРКИНА, Е.Л. ВОРОБЕЙЧИК

Институт экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург

Ключевые слова: *дождевые черви, морфология органогенных горизонтов, почвенная фауна, промышленное загрязнение, тяжелые металлы, формы гумуса*

Современная Европейская морфофункциональная классификация систем и форм гумуса (Zanella et al., 2018; также специальные выпуски Humusica 1 и Humusica 2 журнала Applied Soil Ecology в 2018 г.) охватывает большое разнообразие типов морфологического строения верхних органогенных горизонтов почв, характерных для широкого спектра природных условий. Удобство ее применения связано с четкими диагностическими критериями, унификацией терминологии и принципов классификации многих национальных школ. Таксономия форм гумуса базируется на зависимости морфологического строения органогенных горизонтов от структуры и обилия сапротрофного комплекса почвенной биоты. Классификация также включает некоторые антропогенные формы гумуса (в урбо- и агроэкосистемах, на искусственных или переотложенных природных субстратах). Однако формы гумуса, измененные под влиянием промышленного загрязнения, не включены в классификацию. Учитывая, что по сравнению с природными аналогами они обладают многими специфическими особенностями строения, биологических и химических свойств, необходимо их детальное рассмотрение.

Мы исследовали морфологию органогенных горизонтов почв, длительное время подвергавшихся атмосферному загрязнению выбросами Среднеуральского медеплавильного завода (подзона южной тайги Среднего Урала). Предприятие функционирует более 80 лет; долгое время оно было крупнейшим в России источником загрязнения среды диоксидом серы, металлами (Cu, Pb, Zn, Cd, Hg и др.) и металлоидами (As), но к настоящему времени его выбросы практически прекратились, что инициировало восстановление экосистем (Воробейчик и др., 2019). Участки располагались в разных зонах загрязнения (фоновая, буферная, импактная) на пологих склонах в хвойных и смешанных лесах, где преобладают дерново-подзолистые почвы.

На всей обследованной территории было выявлено большое разнообразие форм гумуса, относящихся к Terrestrial humus systems (автоморфным почвам) – от Mesomull до Eumor, т.е. все формы в ряду биологической активности за исключением Eumull. Их морфологический облик полностью соответствовал критериям, описанным в Европейской классификации, поэтому они были отнесены к типичным. Кроме этого, был выявлен 21 вариант строения гумусовых профилей, которые по сочетанию признаков не соответствовали ни одной из природных форм гумуса и встречались только на загрязненных территориях, причем в буферной зоне они преобладали. Эти формы гумуса были отнесены к нетипичным.

Все изменения форм гумуса на загрязненных территориях происходят в результате развертывания двух противоположно направленных процессов: деградации, т.е. нарушения строения органогенных горизонтов из-за подавления сапрофагов под влиянием загрязнения, и реградации, т.е. восстановления этих горизонтов в процессе реколонизации сапрофагами после почти полного прекращения поступления поллютантов.

Процесс деградации заключается в том, что по мере приближения к источнику загрязнения высоко активные зоогенные мюль-формы гумуса, характерные для фоновых территорий, замещаются вначале модер-формами, а затем мор-формами, включая крайний вариант Eumor, в котором разложение растительных остатков протекает под воздействием только микроорганизмов (Коркина, Воробейчик, 2016; Korkina, Vorobeichik, 2018). Такое замещение связано с изменениями в обилии и структуре сообществ крупных почвенных беспозвоночных, а именно в уменьшении численности дождевых червей с последующим исчезновением вначале эндогейных, а затем и эпигейных видов при постепенном увеличении токсичности почв (Воробейчик и др., 2019). Процесс реградации инициирован уменьшением токсичности почв и заключается в обратном переходе мор-форм к мюль-формам по мере заселения незоогенных подстилок дождевыми червями и другими сапрофагами (Korkina, Vorobeichik, 2021).

Причина формирования нетипичных гумусовых профилей – неодинаковая скорость реакции разных горизонтов на изменение внешних условий, в результате чего в одном профиле сочетаются признаки разных стадий эволюции форм гумуса. Так более быстрая деградация органических горизонтов по сравнению с органоминеральными приводит к появлению нетипичных мор-форм, в которых незоогенный горизонт OF сочетается с горизонтом A, сохранившим зоогенную структуру. Запаздывание восстановления горизонта A по сравнению с органическими приводит к сочетанию в одном профиле зоогенных горизонтов OF, аналогичных или схожих с таковыми в системах Модера и Мюля, с незоогенным горизонтом A.

Формирование нетипичных профилей в процессе восстановления почв зависит от характера заселения загрязненных органических горизонтов крупными сапрофагами. Превращение незоогенного OF в зоогенный при восстановлении мор-форм до мюль-форм начинается с верхних слоев подстилки и распространяется вглубь профиля. Это приводит к появлению нетипичной последовательности (инверсии) горизонтов, неоднородности горизонта OF, включению фрагментов (локусов) одного горизонта в пределах другого (например, в толще зоогенно преобразованных растительных остатков сохраняются незоогенные фрагменты горизонта OF, или локусы горизонта OH в виде скопления микроэкскрементов или копролитов в пределах неоднородного OF).

Восстановление мор-форм до мюль-форм может происходить двумя разными путями: 1) последовательное возвращение к мюль-формам через промежуточные стадии модер-форм, при котором эти промежуточные стадии, если и имеют нетипичное строение, но по строению органических горизонтов близки одной из систем форм гумуса, т.е. имеют аналоги среди типичных форм; 2) без прохождения промежуточных стадий модер-форм через специфические формы, в которых сочетаются несочетаемые в естественных условиях признаки из двух систем – Мора и Мюля. Мы назвали такие формы Mormull; для них нет аналогов среди типичных форм гумуса.

Инвентаризация разнообразия форм гумуса на загрязненных территориях позволила систематизировать разные виды нетипичных профилей. На основе этого мы предложили номенклатуру, типологию и схему эволюции форм гумуса лесных почв в ходе их техногенной деградации и посттехногенной реградации (Korkina, Vorobeichik, 2021). Мы рассматриваем нетипичные формы гумуса как неравновесные состояния системы. Такие состояния неустойчивы, поскольку системы «стремятся» достигнуть равновесия с изменившимися внешними условиями. Исходя из такой интерпретации, нетипичные формы гумуса в ряду реградации «эфемерны» в сукцессионном масштабе времени лесных экосистем, и при дальнейшем ходе восстановления быстро «самоуничтожатся», перейдя в типичные формы системы Мюля.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 19-29-05175).

ЛИТЕРАТУРА

1. Воробейчик Е.Л., Ермаков А.И., Гребенников М.Е. Начальные этапы восстановления сообществ почвенной мезофауны после сокращения выбросов медеплавильного завода // Экология. 2019. № 2. С. 133–148.
2. Коркина И.Н., Воробейчик Е.Л. Индекс форм гумуса – перспективный инструмент для экологического мониторинга // Экология. 2016. № 6. Р. 434–440.
3. Korkina I.N., Vorobeichik E.L. Humus Index as an indicator of the topsoil response to the impacts of industrial pollution // Appl. Soil Ecol. 2018. V. 123. P. 455–463.
4. Korkina I.N., Vorobeichik E.L. Non-typical degraded and regraded humus forms in metal-contaminated areas, or there and back again // Geoderma. 2021. V. 404. 115390.
5. Zanella A., Ponge J.-F., de Waals R. et al. Humusica 1, article 3: Essential bases – Quick look at the classification // Appl. Soil Ecol. 2018. V. 122. P. 42–55.

EVOLUTION OF HUMUS FORMS OF FOREST ECOSYSTEMS IN THE AREAS OF LONG-TERM INDUSTRIAL POLLUTION

I.N. KORKINA, E.L. VOROBEICHIK

Key words: *humus forms, topsoil morphology, soil fauna, earthworms, industrial pollution, heavy metals*

СВОЙСТВА ПОЧВЫ И ОСОБЕННОСТИ РОСТА ЛИСТВЕННИЦЫ СИБИРСКОЙ НА ПЕСЧАНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТВАЛАХ ЕГОРЬЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ФОСФОРИТОВ МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ

О.В. КОРМИЛИЦЫНА, С.Б. ВАСИЛЬЕВ, В.В. БОНДАРЕНКО

ФГОУ ВО Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Мытищи

Ключевые слова: *гипс, лиственница, месторождение фосфоритов, рекультивация песчаных отвалов*

На территории Егорьевского месторождения фосфоритов Московской области в течение семидесятилетнего периода проводилась добыча фосфоритной руды открытым способом. Образовавшиеся вскрышные породы укладывались обратно в отвал. В результате образовались обширные песчаные поля, представленные несистемными наносами дочетвертичных и четвертичных отложений. Егорьевское месторождение фосфоритов по промышленному типу фосфатных руд относится к фосфоритовому желваковому типу (Мазхар Ибрахим Сальман и др., 2006). В песчанистых желваковых фосфоритах основными балластными минералами являются: кварц, кальцит и гипс. В 1988 г. была проведена рекультивация песчаных отвалов Егорьевского месторождения фосфоритов различными древесными породами.

Целью исследований являлось изучение свойств почвы и особенностей роста лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) на песчаных промышленных отвалах Егорьевского месторождения фосфоритов Московской области.

Объектами исследований были выбраны 30-летние посадки лиственницы сибирской, расположенные в Хорловском участковом лесничестве Виноградского лесничества (Виноградского филиала ГКУ МО «Мособлес»). Лиственница на территории Московской области является интродуцентом. Первые посадки этой породы были проведены выдающимися лесоводами-практиками К.Ф. Тюрмером и М. К. Турским в середине XIX века (Мельник и др., 2005).

На песчаных промышленных отвалах сформировалась слаборазвитая почва. Профиль почвы состоит из подстилки мощностью 5-7 см, под которой выделяется маломощный горизонт рыхлой почвообразующей породы, затронутой почвообразованием, серый, супесчаный, с наличием растительных остатков разной степени разложения, структура неустойчивая комковатая, переход волнистый ясный. Почва обладает по всему профилю сильно кислой реакцией среды (pH_{KCl} 3,6-4,0). Диагностической особенностью изучаемой почвы является наличие гипса в профиле, содержание которого увеличивается с глубиной от 0,4 до 4,6 %.

Анализ актуализированных метеорологических данных близлежащих к Воскресенскому району 4-х метеостанций (Москва-ВДНХ; Коломна; Переславль-Залесский; Нижний Новгород) показал, что за период с 1988 года наблюдались экстремально высокие среднегодовые значения температуры воздуха в 1988, 1999, 2001, 2002, 2010 и 2011 годах. Среднегодовая сумма осадков изменялась в пределах от 627 до 624 мм; наибольшее количество осадков выпадает в летний период (июнь, июль), в среднем 70-80 мм в месяц. Среднегодовой коэффициент увлажнения (по Н.Н. Иванову) составляет 1,18, что свидетельствует об обеспеченности территории влагой. Однако, в течение вегетационного периода (апрель-октябрь) увлажнение территории происходит неравномерно, что приводит к дефициту влаги.

На песчаных промышленных отвалах сформировался 30-летний лиственничник мелкотравный II класса бонитета, средняя высота – 12 м, средний диаметр – 11 см. В настоящее время большая часть насаждения выпала, полнота – 0,3.

Наибольший радиальный прирост лиственницы сибирской был отмечен в фазах приживания и индивидуального роста, предшествующих смыканию крон, достигая значений 10,1 мм. С возрастом наблюдается уменьшение ширины годичного прироста до величины 2,6 мм, а в неблагоприятные годы снижение происходило до 0,6 мм.

Значение ширины годичного кольца свидетельствует о том, что лиственница сибирская достаточно толерантна к гидротермическому режиму Воскресенского района Московской области. Однако, она чувствительна к высокому дефициту влаги и высокой температуре воздуха. Опыт лесоводов-практиков и исследователей за весь период интродукции лиственницы в Московской области показал, что наибольшую продуктивность (I-Ia бонитет) в условиях Подмосковья имеют насаждения лиственницы, созданные в типах условий местопроизрастания B2 и C2-3, выращенные из местных семян. Формирующаяся почва на промышленных отвалах обладает супесчаным гранулометрическим составом, высокой кислотностью, низким содержанием питательных веществ. Таким образом, лесорастительные условия песчаных промышленных отвалов Егорьевского месторождения фосфоритов Московской области не удовлетворяют потребностям лиственницы сибирской в полной мере.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мазхар И.С., Яшина А.В. Геостатистический анализ геолого-промышленных параметров Егорьевского месторождения желваковых фосфоритов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2006. № 7. С. 110–115.
2. Мельник П.Г., Карасев Н.Н. Результаты интродукции лиственницы в северо-восточное Подмосковье // Лесной вестник. 2005. № 2. С. 36–40.

SOIL PROPERTIES AND GROWTH FEATURES OF SIBERIAN LARCH ON SANDY INDUSTRIAL DUMPS OF THE YEGORYEVSKY PHOSPHORITE DEPOSIT OF THE MOSCOW REGION

O.V. KORMILITSYNA, S.B. VASILIEV, V.V. BONDARENKO

Key words: *recultivation of sand dumps, larch, gypsum, phosphorite deposit*

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГОРОДСКИХ И ЛЕСНЫХ ПОЧВ КОЛЬСКОЙ СУБАРКТИКИ

М.В. КОРНЕЙКОВА[1], Д.А. НИКИТИН[2], В.И. ВАСЕНЕВ[1], А.В. ДОЛГИХ[3]

[1]Российский университет дружбы народов, г. Москва
[2]Почвенный Институт им. Докучаева Российской академии наук, г. Москва
[3]Институт географии Российской академии наук, г. Москва

Ключевые слова: *биомасса, грибы, количественная ПЦР, Кольский полуостров, лесные экосистемы, прокариоты, урбоэкосистемы*

Городские почвы принципиально отличаются от лесных по условиям формирования и функционирования, тем не менее, их экологические функции и экосистемные сервисы остаются малоизученными, особенно в контексте специфики региональных биоклиматических условий и использования современных методов микробиологического анализа (Morel et al., 2015). Чувствительность микроорганизмов к внешним воздействиям, в том числе антропогенной нагрузке, позволяет использовать изменения в количественных показателях и таксономической структуре почвенного микробиома в качестве индикаторов состояния экосистем. Целью работы является изучение количественных показателей микробных сообществ городских и лесных почв Кольской Субарктики с использованием методов флуоресцентной микроскопии и ПЦР в реальном времени и сравнение с результатами, полученными классическими методами почвенной микробиологии. Изменения морфологического и химического состава городских почв включали смещение pH и увеличение содержания C и N по сравнению с лесной почвой. Биомасса микромицетов и актиномицетов в городских почвах ниже, чем в лесных, и составляла 0,12-0,19 мг / г и 0,06-0,44 · 10-3 мг / г соответственно. Бактериальная биомасса, напротив, увеличилась в городских почвах до 2,6 ·10-3 – 5,6 ·10-3 мг / г. Количество копий генов ITS грибов в городских почвах варьировало от 5,0 × 109 до 1,45 × 1010 копий / г почвы. Количество копий генов рРНК бактерий и архей в городских почвах увеличилось по сравнению с лесными и составило 2,37 × 1010 – 9,99 × 1010 и 0,4 × 1010 – 0,8 × 1010 копий / г почвы соответственно. В городских почвах выявлены морфологические изменения микроскопических грибов, в том числе преобладание мелких спор, по сравнению с лесными почвами, где преобладал мицелий. Сравнение полученных результатов с ранее проведенными исследованиями с использованием классических методов позволило выявить особенности отдельных групп микроорганизмы, включая археи, и оценить потенциал лесных и городских почв к самоочищению в условиях возрастающей антропогенной нагрузки.

Финасирование: РФФИ 19-29-05187. Программа стратегического академического лидерства РУДН, проект П03, №202185-2-000.

ЛИТЕРАТУРА

1. Morel J.L., Chenu C., Lorenz K. Ecosystems services provided by soil of urban, industrial, traffic, mining, and military areas (SUITMAs) // Journal of Soils and Sediments. 2015. V. 15. P. 1659–1666.

MICROBIOLOGICAL PROPERTIES OF URBAN AND FOREST SOILS OF THE KOLA SUBARCTIC

KORNEYKOVA M.V., NIKITIN D.A., VASENEV V.I., DOLGIKH A.V.

Key words: *prokaryotes, fungi, biomass, quantitative PCR, urban ecosystems, forest ecosystems, Kola Peninsula*

ЛЕСОПРИГОДНОСТЬ КАШТАНОВЫХ ПОЧВ ДЛЯ ПОЛЕЗАЩИТНОГО ЛЕСОРАЗВЕДЕНИЯ

А.В. КОШЕЛЕВ[1], М.В. КОСТИН[2]

[1]Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук, г. Волгоград
[2]Институт лесоведения Российской академии наук, с. Успенское

Ключевые слова: *агролесомелиоративное районирование, каштановые почвы, лесопригодность почв, лесорастительные условия, полезащитное лесоразведение*

В полезащитном лесоразведении, особенно в степных и сухостепных природных зонах юго-востока Европейской части России, долговечность и эффективность функционирования насаждений определяется влагообеспеченностью и лесопригодностью почв (Манаенков, 2017). В зависимости от лесорастительных условий выделяют 4 группы лесопригодности почв (Кретинин, 2009): лесопригодные, ограниченно лесопригодные, условно лесопригодные, не лесопригодные почвы.

Цель исследования состояла в определении лесопригодности почв тестового полигона «Пронин» на основе почвенной карты М 1:25000 с последующим их цифровым картографированием.

Исследования проводили на тестовом полигоне «Пронин», расположенного на юго-западе Серафимовичского района Волгоградской области. По агролесомелиоративному районированию территория тестового полигона относится к Волго-Донскому агролесомелиоративному району (Кретинин, 2009). Климат района континентальный, характеризуется умеренно холодной малоснежной зимой и очень теплым летом. Среднегодовое количество осадков составляет 380-450 мм, испаряемость 700-750 мм.

В почвенном отношении территория полигона входит в Донскую провинцию темно-каштановых почв сухой степи. Разнообразные формы рельефа и почвообразующих пород обусловливают комплексность почвенного покрова. Почвы затронуты деятельностью эрозионных процессов (Дегтярева и др., 1970). Анализ почвенной карты показал, что на тестовом полигоне «Пронин» преобладают почвы темно-каштановые среднемощные, глинистого и тяжелосуглинистого гранулометрического состава, карбонатные, слабо и среднесмытые. Облегчение гранулометрического состава идет к пойме реки Цуцкан, с северо-запада на юго-восток.

На примере водосбора системы балок «Крутой Лог» и «Каменная» произведена картографическая оценка площадей почвенных контуров. В почвенном покрове водосбора преобладают темно-каштановые маломощные карбонатные среднесмытые почвы тяжелого гранулометрического состава и составляют 76,8 % от площади контура водосбора. Содержание солонцов в почвенных комплексах колеблется от 10 до 25 %.

Темно-каштановые маломощные почвы имеют среднесуглинистый и тяжелосуглинистый гранулометрический состав. Являются мало гумусированными, содержание гумуса составляет 1,55-1,65 %. Сухой остаток варьирует от 0,106 до 0,118 %, что свидетельствует о не засоленности почвенного профиля. Общая щелочность имеет величины 0,69-0,77 %. Глубина залегания карбонатов составляет 80-100 см.

Темно-каштановые среднемощные почвы имеют тяжелосуглинистый гранулометрический состав, занимают 3,2 % от площади контура водосбора. Содержание гумуса в слое 0-25 см составляет 2,66 %. По степени засоления относятся к не засоленным почвам, величина сухого остатка имеет значение 0,098 %. Общая щелочность составляет 0,037 %. Карбонаты залегают на глубине 60-80 см.

В верховьях балки «Каменная» в восточной и северной частях распространены черноземы южные маломощные, карбонатные, тяжелосуглинистого гранулометрического состава с содержанием солонцов в почвенном комплексе до 10 %, которые занимают 7,2 % от площади контура водосбора.

Луговые и луговато-каштановые почвы составляют 1,3 % и 0,8 % от площади контура соответственно. Первые распространены между отрогами балки «Каменная» в центральной части с восточной стороны, вторые – в низовьях балки «Крутой Лог».

Пойменные почвы занимают 1,9 % и распространены в пойме реки Цуцкан, ограничивающей восточную часть водосбора. Гранулометрический состав – легкосуглинистый и супесчаный.

Солонцы луговые составляют 1,3 % от площади контура водосбора, и распространены в верховьях балки «Крутой Лог». Почвы балок составляют 8,3 % от площади контура водосбора.

Согласно проведенной группировке почв бассейна Среднего Дона по лесорастительным условиям (Зайченко и др., 1995) почвы межбалочного водосбора тестового полигона подразделяются также на 4 группы лесопригодности.

На основе полученных данных о лесопригодности почв тестового полигона будет составлена цифровая карта и даны рекомендации по ассортименту древесно-кустарниковых пород при создании полезащитных лесных полос на данной территории.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дегтярева Е.Т., Жулидова А.Н. Почвы Волгоградской области. Волгоград: Нижне-Волжское кн. изд-во, 1970. 320 с.
2. Зайченко К.И., Исупов Б.А. Природная эволюция, плодородие и лесорастительные свойства почв бассейна среднего Дона // Сборник научных трудов: Агролесоландшафты: проблемы, свойства, управление и оценка. Волгоград: ВНИАЛМИ, 1995. С. 55–65.
3. Кретинин В.М. Агролесомелиорация почв. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2009. 198 с.
4. Манаенков А.С. Закономерности водного режима, роста и долговечности искусственных древостоев в засушливых условиях // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2017. № 221. С. 91–106.

FOREST SUITABILITY OF CHESTNUT SOILS FOR FIELD-PROTECTIVE AFFORESTATION

A.V. KOSHELEV, M.V. KOSTIN

Key words: *forest suitability of soils, chestnut soils, field-protective afforestation, agroforestry zoning, forest growing conditions*

ПОТЕНЦИАЛ РАЗВИТИЯ НИЗКОУГЛЕРОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В АГРОЛЕСОМЕЛИОРАЦИИ

А.В. КОШЕЛЕВ

Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук, г. Волгоград

Ключевые слова: *агролесомелиорация, депонирование CO_2, защитные лесные насаждения, изменение климата, карбоновые полигоны, система углеродной сертификации, углерод*

За последние десятилетия интенсивная антропогенная деятельность, построенная на капиталистической модели эксплуатации природных ресурсов, привела к техногенной трансформации окружающей среды и обусловила усиливающие региональные и глобальные климатические изменения (Глобальные изменения…, 2009; Лукина, 2020).

Парижские соглашения по климату 2015 г. стали катализатором актуальной международной климатической повестки. В рамках принятых соглашений были поставлены четкие задачи по недопущению роста температуры более 1,5-2 С°, сокращению эмиссии углекислого газа в Мире к 2050 г. путем реализации концепции «4-х промилле», что позволит в конечном итоге выйти на «нуль-эмиссию» углекислого газа.

Россия ратифицировала Парижские соглашения в 2019 г. и активно включилась в данную работу. Министерством науки и высшего образования РФ инициировано создание сети карбоновых полигонов на всей территории страны для реализации мер контроля климатических активных газов с участием ВУЗов и НИИ. Развивается концепция карбонового земледелия (Замолодчиков, 2021; Битва за климат…, 2021).

Важнейшим фактором регулирования и формирования баланса углерода в биосфере является его депонирование в растительном покрове и в почве. В условиях роста концентрации CO_2 в атмосфере более ценными считаются те биогеоценозы и агролесоландшафты, которые способны больше ассимилировать углекислый газ из атмосферы и дольше удерживать в себе углерод, т.е. иметь максимальное содержание углерода во всех компонентах системы.

За рубежом достаточно полно изучена депонирующая и секвестрационная роль естественных лесов в урболандшафтах и агролесоводстве. В России подобные исследования проводили только в естественных лесах и не проводили на агролесомелиоративной территории. Это связано с большим разнообразием регионов, молодыми посадками защитных лесных насаждений (ЗЛН), в основном после 1948 г., а также отсутствием методологии исследований (Кретинин, 2004).

За всю историю защитного лесоразведения в России на сельскохозяйственных землях было посажено 5,2 млн. га ЗЛН. К настоящему времени их площадь уменьшилась до 2,74 млн. га, что составляет лишь 1,3 % аграрной территории РФ, что в 3-6 раз меньше научно обоснованных норм облесения (Стратегия…, 2018).

Существующие вызовы:

– возрастающие темпы процессов опустынивания и деградации агроландшафтов;

– высокая степень распаханности и малая лесистость сельскохозяйственных земель АПК России;

– непонимание роли защитных лесных насаждений в снижении углеродного напряжения;

– отсутствие готовности агросферы к углерод-нейтральной экономике;

– зависимость сельхозтоваропроизводителей от конъюнктуры рынка, определяющей их дальнейшие действия по землепользованию.

Возрождение агролесомелиорации и агролесоводства даст возможность секвестрировать углерод ежегодно до 70 т/га. Создание и освоение интенсивного сельскохозяйственного производства, агролесоводства и альтернативных систем использования, в т.ч. деградированных, малопродуктивных и маргинальных земель, дает возможность секвестрировать ежегодно 0,82-2,2 т/га С (Кретинин, 2004).

Агролесокомплексы в первую очередь необходимо формировать на территориях охваченных разработанными субрегиональными национальными программами действий по борьбе с опустыниванием и районами катастрофического развития процессов дефляции и водной эрозии. К таким территориям относятся Центрально-Черноземные области, Поволжье и Северный Кавказ (Стратегия…, 2018).

Снижение углеродного напряжения земель сельскохозяйственного назначения может быть обеспечено за счет внедрения следующих мероприятий и технологий:

– низкоуглеродные технологии в агролесомелиорации и агролесоводстве, обеспечивающие максимально возможное поглощение СО2 за счет внедрения в структуру ЗЛН быстрорастущих древесных пород, адаптированных к конкретным почвенно-климатическим условиям;

– национальная система углеродной сертификации в аграрном секторе позволит осуществлять контроль за балансом углерода сельскохозяйственных земель, будет способствовать повышению уровня плодородия почв, а также обеспечит регулирование и повысит ответственность землепользователей по недопущению снижения качества земель;

– модели сбалансированного землепользования на лесомелиорированной территории и агролесоводства позволят обеспечивать накопление углерода и поглощение CO_2 на территории землепользований за счет создания агролесокомплексов и применения технологий агролесомелиоративного, почвозащитного и ресурсосберегающего земледелия.

По экспертной оценке (Кретинин, 2004; Кулик и др., 2017) создание агролесокомплексов позволит достичь объема депонированного углерода под ЗЛН и прилегающей территории 180 млн. т. к 2030 г., и секвестрации CO_2 порядка 680 млн. т. к 2030 г. Потенциал роста к 2050 г. по депонированию С составит 230 млн т, по CO_2 – 850 млн т.

Работа выполнена по теме Государственного задания ФНЦ агроэкологии РАН №0713-2019-0007.

ЛИТЕРАТУРА

1. Битва за климат: карбоновое земледелие как ставка России: экспертный доклад / под ред. А.Ю. Иванова, Н.Д. Дурманова. М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2021. 120 с.
2. Глобальные изменения климата и прогноз рисков в сельском хозяйстве России / под ред. А.Л. Иванова, В.И. Кирюшина. Москва: Российская академия сельскохозяйственных наук, 2009. 518 с.
3. Замолодчиков Д.Г. Углеродный цикл и изменения климата // Окружающая среда и энерговедение. 2021. № 2 (10). С. 53–69.
4. Кретинин В.М. Влияние лесомелиорации на аккумуляцию гумуса и биофильных элементов в почвах различных природных зон России // Почвоведение. 2004. № 6. С. 745–751.
5. Кулик К.Н., Рулев А.С., Ткаченко Н.А. Изменения климата и агролесомелиорация // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2017. № 2 (46). С. 58–67.
6. Лукина Н.В. Глобальные вызовы и лесные экосистемы // Вестник Российской академии наук. 2020. Т. 90. № 6. С. 528–532.

7. Стратегия развития защитного лесоразведения в Российской Федерации на период до 2025 года (переработанная и дополненная) / Кулик К.Н., Иванов А.Л., Рулев А.С. и др. Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2018. 36 с.

DEVELOPMENT POTENTIAL OF LOW-CARBON TECHNOLOGIES IN AGROFORESTMELIORATION

A.V. KOSHELEV

Key words: *agroforestmelioration, carbon, protective forest plantations, climate change, CO2 deposition, carbon certification system, carbon polygons*

ПУЛЫ И ПОТОКИ УГЛЕРОДА В КОРЕННЫХ ЕЛОВЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ

М.А. КУЗНЕЦОВ, К.С. БОБКОВА

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар

Ключевые слова: *бюджет углерода, коренные еловые экосистемы, Север, тайга*

Массивы еловых лесов на территории европейского Северо-Востока России выполняют важную средообразующую функцию на Северном полушарии. Они распространяются в основном на территории бассейна р. Печоры и Северной Двины. В крайнесеверной тайге преобладают леса сфагновой, в северной – долгомошной, в средней – зеленомошной группы типов. Большая часть площади ельников представлена спелыми и перестойными насаждениями (Лесной фонд…, 2004).

Установлено, что запасы углерода в экосистемах спелых и перестойных ельников европейского Северо-Востока России составляют 110-215 т га$^{-1}$, более половины которых концентрируется в почве. Значительная часть органического углерода почвы аккумулируется в лесной подстилке. Старовозрастные еловые сообщества характеризуются смешанными по составу разновозрастностыми древостоями, удовлетворительным естественным возобновлением (Коренные еловые…, 2006). Как в подзоне северной, так и средней тайги они являются в основном резервуаром для стока углекислого газа. Нетто-продукция углерода фитомассы в старовозрастных ельниках составляет от 1.3 до 4.5 т га$^{-1}$. С опадом возвращается в почву 1.2-3.2 т га$^{-1}$. Прирост органического углерода в почве ельников за счет закрепления его в минеральном субстрате составляет 7-10 % от массы годичного опада. Под полог ельников с атмосферными осадками поступает от 64 до 86 кг га$^{-1}$ растворимого органического углерода (Робакидзе и др.,2013). Содержание его в лизиметрических водах из-под подстилки значительно в течение всего вегетационного периода. Из минеральных горизонтов почвы лизиметрический углерод вымывается слабо.

В еловых экосистемах основная часть потери углерода приходится на эмиссию от разложения растительных остатков. Соотношение поступающего потока и эмиссии CO_2 показывает, что большинство типов старовозрастных еловых сообществ служат местом хотя слабого, но стока углерода. Лишь в отдельные периоды развития перестойные ельники северной тайги могут служить слабым его источником. Выявлено тесное влияние погодных условий вегетационного сезона на процесс выделения CO_2 с поверхности почвы. Разница гидротермических условий обуславливает и разные величины (2.3-2.7 тга$^{-1}$) выделения за вегетационный сезон углерода (Машика, 2006; Кузнецов, 2010). Определен основной тренд процесса выделения CO_2, его положительная корреляция с температурой почвы. В коренных ельниках в углеродном цикле значительна роль крупных древесных остатков (КДО). Запас органического вещества КДО в них варьируют от 19 до 35 тга$^{-1}$, из которых на долю сухостоя приходится от 5 до 42 %, валежа – от 20 до 80 %, пней и остолопа от 1 до 32 %.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Коренные еловые леса Севера: биоразнообразие, структура, функции / Отв.ред. К.С.Бобкова, Э.П. Галенко. СПб.: Наука, 2006. 337 с.

2. Кузнецов М.А. Динамика содержания органического углерода в заболоченных ельниках средней тайги. Дисс. … канд. биол. наук (спец. 03.02.08). Сыктывкар, 2010. 141 с.
3. Лесной фонд России. М., 2003. 260 с.
4. Машика А.В. Эмиссия диоксида углерода с поверхности подзолистой почвы // Почвоведение. 2006. №12. С. 1457–1464
5. Робакидзе Е.А., Торлопова Н.В., Бобкова К.С. Химический состав жидких атмосферных осадков в старовозрастных ельниках средней тайги // Геохимия. 2013. № 1. С. 72–83.

POOLS AND FLUXES OF CARBON IN MATURE SPRUCE ECOSYSTEMS OF THE EUROPEAN NORTH-EAST OF RUSSIA

M.A. KUZNETSOV, K.S. BOBKOVA

Key words: *carbon budget, mature spruce ecosystems, North, taiga*

ВАРИАТИВНОСТЬ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА РАСТЕНИЙ И ПОЧВ В ЛЕСАХ ПЕЧОРО-ИЛЫЧСКОГО И ВИСИМСКОГО ЗАПОВЕДНИКОВ

И.Ю. КУДРЕВАТЫХ[1], А.П. ГЕРАСЬКИНА[2], О.В. СМИРНОВА[2]

[1]Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения Российской академии наук – обособленное подразделение ФИЦ ПНЦБИ РАН, г. Пущино
[2]Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов Российской академии наук, г. Москва

Ключевые слова: *заповедник, почва, растение, химический состав*

Лесные экосистемы всего мира достаточно быстро реагируют на основные маркеры глобальных климатических изменений (повышение температуры, изменение характера осадков, увеличение доступности питательных веществ, повышение атмосферного CO_2 и т.п.). Однако экологический отклик разных видов растений и условия их произрастания часто неоднозначны, что представляет серьезную проблему для прогнозирования реакции сообществ на изменение окружающей среды. Зачастую следствием реакции экосистем, в том числе и лесных, на природные и антропогенные изменения является изменение циклов химических элементов, которое напрямую зависит от биоразнообразия напочвенного покрова. Поэтому для дальнейшего прогнозирования этих изменений, требуется лучшее понимание функциональной роли отдельных видов растений как древесного, так и напочвенного ярусов в круговороте химических элементов.

Данное исследование было нацелено на оценку вариативности химического состава растений напочвенного покрова лесов в зависимости от 1) периода вегетации (весна, лето), 2) типа леса (чернично-зеленомошный и высокотравный пихто-ельники), 3) географического положения (северная и средняя тайга) и его взаимосвязи с химическим составом почв. В качестве объектов исследования были выбраны пихто-ельники Северного и Среднего Урала (территория Печоро-Илычского и Висимского заповедников). В каждом заповеднике было выбрано по 2 пробные площадки (площадью 1 га), на которых отбирали почвенные монолиты (всего n = 150) на глубину корнеобитаемого слоя. Из каждого монолита выбирали живые растения всех видов трав, кустарничков и мохообразных, определяли их видовую принадлежность. На этих же пробных площадках закладывали почвенные разрезы (по 3 участка), из которых отбирали смешанный образ из каждого горизонта. Подготовку отобранных проб растений и почвы к химическим анализам проводили по стандартной методике (Kalra, Maynard, 1991). В полученных образцах измеряли концентрацию Na, Mg, Al, Si, P, S, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Pb, Si методом рентгено – флуоресцентного анализа.

В Висимском заповеднике в двух типах леса было проведено сравнение химического состава весеннего и летнего напочвенного покрова. Характерная особенность весеннего биоразнообразия – массовое развитие эфемероидов, которые составили основную массу растений, а в летнее время (август) биоразнообразие в основном было представлено неморальными видами, с заметной ролью папоротников и высокотравья. Выявлено, что в течении всего периода вегетации в надземной части растений больше концентрируется K, S, P, Cl, Br, Rb, а в подземной – Fe, Al, Mg, Ba, Ti, Mn, Cr, Zn. При этом в течение периода вегетации происходит перераспределение из подземной в надземную части растений напочвенного покрова элементов Ba, Sr, Br, Mn, Rb, Cr.

На примере химического состава *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop., *Equisetum sylvaticum* L., *Gymnocarpium dryopteris* (L.) Newman., *Orthilia secunda* (L.) House, *Oxalis acetosella* L., *Vaccinium myrtillus* L. и *Vaccinium vitis-idaea* L. в двух типах леса Печоро-Илычского заповедника показано, что в бореально-высокотравном пихто-ельнике во всех

изученных видах было выше содержание K, Al, P, Cl, а в чернично-зеленомошном – Mn, S, Cr, Rb, Sr. Можно предположить, что содержание в изученных растениях Ca, Mg, Fe и Zn определялось в большей мере видовой принадлежностью, чем местом произрастания.
На примере *Aconitum septentrionale*, *Calamagrostis obtusata*, *Chamaenérion angustifolium*, *Gymnocarpium dryopteris* (L.) Newman, *Luzula pilosa* (L.) Willd., *Maianthemum bifolium* (L.) F.W. Schmidt, *Oxalis acetosella*, *Stellaria nemorum* L. было проведено сравнение химического состава растений в разных типах леса Печоро-Илычского и Висимского заповедников (северная и средняя тайга соответственно). Выявлено, что содержание Ca, K, S, Mg, P, Cl, Sr было примерно одинаковым в растениях одного вида, произрастающих в разных типах леса и географических районах. А элементы Al, Rb, Zn, Fe, Mn и Cr показали очень высокую вариабельность в пределах вида с наибольшими концентрациями у растений, произрастающих на Среднем Урале (Висимский заповедник).
В Висимском заповеднике нами был диагностирован один тип почв – буроземы грубогусовые, а в Печоро-Илычском заповеднике в пихто-ельнике чернично-зеленомошном выявлена подзолистая почва, а в пихто-ельнике бореально-высокотравном – бурозем. Характер распределения изученных элементов в профиле изученных почв показал сильные различия как в пределах одного типа леса, так и между регионами. В профиле почв пихто-ельников в Висимском заповеднике Mg, Al, Si, K, Ti и Fe имели элювиальный тип распределения, Mn, P, S, Ca, Zn и Pb – аккумулятивный тип. В почвах пихто-ельников Печоро-Илычкого Ca, Mg, K, Mn, Zn, P и S распределяются в почвенном профиле по аккумулятивному типу, а Fe и Al – по элювиальному. При сравнении химического состава подстилки (горизонт O) изученных типов леса выявлено, что в буроземах на 50 % выше в ней содержание Ca, Mg, K, Zn, P и S, а в подзолах – Al и Fe. Таким образом можно предположить, что обогащению верхних горизонтов подзолов Ca, Mg, K, Zn, P и S происходит за счет увеличения их концентрации в растениях напочвенного покрова.

Работа выполнена при финансировании гранта РФФИ №19-04-00609 А.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kalra Y.P., Maynard D.G. Methods manual for forest soil and plant analysis. Inf. Rep. NOR-X-319. Minister of Supply and Services Canada. 1991. P.116.

THE VARIABILITY OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF PLANTS AND SOILS IN THE FORESTS OF THE PECHORO-IYICH AND VISIMSKY RESERVES

I.Y. KUDREVATYKH, A.P. GERASKINA, O.V. SMIRNOVA

Key words: *chemical composition, soil, plant, reserve*

КОМБИНИРОВАННОЕ ВЛИЯНИЕ БИОТИЧЕСКИХ И АБИОТИЧЕСКИХ СТРЕСС-ФАКТОРОВ НА ЭМИССИЮ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА ПОЧВАМИ В ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ В УСЛОВИЯХ МЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА

Ю.В. КУПРИЯНОВА[1], Г.Н. КОПЦИК[1], М.С. КАДУЛИН[1], Д.В. ИЛЬЯСОВ[2]

[1]Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва
[2]Институт лесоведения Российской академии наук, с. Успенское

Ключевые слова: *ветровал, деградация ельников, дыхание почвы, корневое дыхание, короед-типограф, микробная биомасса, микробное дыхание, опад, повышение температуры, поток CO_2 в почве*

Поток CO_2 из лесных почв составляет около от 45 до 80 % общего дыхания экосистемы и рассматривается как самый большой поток углерода Земли после ассимиляции фотосинтетического углерода (Raich, Schlesinger, 1992). Согласно оценке J.W. Raich и W.H. Schlesinger (1992) дыхание почв в хвойных лесах умеренного пояса составляет 681 ± 95 г С/м^2/год или 19 % от общего вклада всех типов леса. В глобальном масштабе на обезлесение и деградацию лесов приходится 12–20 % выбросов CO_2. В то же время, леса поглощают огромное количество углерода, и в течение последнего десятилетия лесной сток углерода составляет около 3,2 Гт CO_2 год$^{-1}$ (Friedlingstein et al., 2019).

В последние десятилетия абиотические нарушения, такие как буреломы и ветровалы, и биотические нарушения, такие как вспышки короеда, являются важными факторами функционирования лесных экосистем (Kosunen et al., 2020). Они могут способствовать значительным изменениям в углеродном балансе экосистемы. В недавних исследованиях прогнозируется усиление их влияния по всему миру (Bentz et al., 2019; Kosunen et al., 2020). Однако природа этих двух нарушений различается. Смертность деревьев в результате урагана происходит немедленно и обычно включает в себя нарушение почвы, в то время как вспышка короеда-типографа является более постепенной, рассредоточенной во времени и часто приводит к более неоднородной гибели деревьев (Kosunen et al., 2020). Поэтому целью настоящего исследования были оценка пространственно-временной изменчивости эмиссии CO_2 почвами под воздействием абиогенных и биогенных факторов в лесных экосистемах Звенигородской биостанции МГУ.

Объекты исследования. Исследования проводили на территории государственного природного заказника регионального значения «Звенигородская биостанция МГУ и карьер Сима» (ЗБС, Московская область), расположенном в подзоне хвойно-широколиственных лесов, где в 2007 году было начато проведение комплексного мониторинга лесных биогеоценозов (БГЦ). Участки мониторинга были заложены в сложном сосново-еловом разнотравно-кисличном лесу, березовом разнотравно-костянично-кисличном лесу и сложном еловом разнотравно-кисличном лесу на подзолистых и дерново-подзолистых почвах (Копцик и др., 2011). На участках мониторинга в 2014-16 гг. были отмечены очаги размножения короеда-типографа, вспышка которого началась в 2011-2012 гг. В 2017 году два из трех участка подверглись сильнейшему ветровалу, что привело к массовому заселению ослабленных стоячих деревьев, активному выпадению древесного дебриса и преобразованию участков в редины.

Методы исследования. Поток CO_2 из почв in situ измеряли методом закрытых камер с помощью ИК CO2-газоанализатора AZ 7752 ежемесячно в 2014-2020 гг. в 9-12-кратной повторности в каждом БГЦ. Одновременно измеряли температуру и влажность почвы. Вклад микробного и корневого дыхания определяли полевым методом субстрат индуцированного

дыхания. Метеорологические условия охарактеризованы на основании архивных данных ближайшей метеостанции Ново-Иерусалимская (web-сайт "Расписание погоды"). Температуру воздуха и поверхностного слоя почв (0 и 5 см) измеряли с помощью регистраторов Hygrochron (iButton DS1923). Скорость эмиссии CO_2 в зависимости от температуры рассчитывали путем аппроксимации экспериментальных данных уравнением Аррениуса в модификации J. Lloyd, J.A. Taylor (1994). Сезонные и годовые потоки рассчитывали суммированием суточных потоков. Микробную биомассу определяли методом фумигации – экстракции (Solaiman, 2007) в свежих образцах почв, лишенных корней, концентрации микробных и лабильных (извлекаемых водой) углерода и азота в растворах измеряли на Shimadzu TOC Analyzer. Сбор опада проводили в соответствии с рекомендациями ICP Forests (Копцик и др., 2011; Pitman et al., 2011).

Результаты и обсуждение. Сравнительная характеристика пространственной изменчивости эмиссии диоксида углерода почвами различных БГЦ ЗБС в летние периоды 2014-2020 гг. показала, что значимых различий в скоростях эмиссии диоксида углерода между рединами не обнаруживается. Однако между елово-березовым лесом и рединами с каждым годом по мере их образования в связи с ветровалами, вспышкой короеда-типографа и последующим осветлением различия становятся все более очевидными.

Дыхание почвы мало различалось в подкроновых и межкроновых парцеллах в еще ненарушенных лесах. По-видимому, дыхание корней деревьев под кроной и дыхание корней травяных растений вместе с мелкими корнями деревьев в межкроновых пространствах незначительно различаются между собой. По мере превращения лесов в редины разница становится все очевиднее за счет осветления и большей разграниченности на подкроновые и межкроновые пространства. Дыхание почвы замедлялось с увеличением размера зазора в лесном пологе из-за уменьшения поступления опада и формирования корневой биомассы. Также на различия дыхания почв в подкроновых и межкроновых парцеллах редин начинает оказывать влияние влажностный режим почв. Так, в годы с большим количеством осадков дыхание в окнах редин заметно тормозится.

Преобладание микробного дыхания (56-75 %) в 2016 году обусловлено, по-видимому, сравнительно интенсивными процессами разложения мертвого органического вещества микроорганизмами на фоне дефолиации, а также более благоприятных гидротермических условий по сравнению с 2014 г. (максимальная температура июля +30.1 °C, сумма осадков 75 мм). В 2019 году наблюдалось увеличение доли корневого дыхания (57-82 %) относительно 2016 года, вероятно, за счет увеличения корневой массы травяных растений вследствие осветления лесов в результате ветровалов и вспышки короеда-типографа. В 2020 году доля корневого дыхания оставалась по-прежнему выше в рединах (52-57 %), в елово-березовом лесу преобладало дыхание микроорганизмов (64 %) за счет продолжающегося активного процесса отмирания елей. Увеличение гетеротрофного дыхания в результате вспышки короеда-типографа также было отмечено в норвежских еловых лесах (Kosunen et al., 2020). Mayer et al. (2017) обнаружили увеличение гетеротрофного дыхания в течение нескольких лет после ветровала и объяснили это повышением температуры почвы и связанным с этим ускоренным разложением почвенного органического вещества. В другом исследовании (Kobler et al., 2015) было показано, что после нарушения леса в результате комплексного воздействия ветровалов и вспышек короеда автотрофное почвенное дыхание уменьшилось, но на гетеротрофное дыхание эти процессы не оказали явного влияния.

В связи с повышением среднегодовой температуры воздуха и изменением породного состава в результате вспышки короеда-типографа в последние годы наблюдается тенденция к увеличению сезонных и годовых показателей эмиссионной активности CO_2, в

особенности летних пиков (со 183 в 2014 г. до 460 мг C-CO_2/м^2/час в 2020 г). Годовые показатели выросли с 687 до 1310 г С/м^2 в год. Полученные нами оценки годовых потоков диоксида углерода из почв лесных БГЦ на территории ЗБС выше аналогичных оценок, имеющимся в литературе для почв лесных экосистем бореальной и умеренной зон (340-760 г С/м2/год, Raich, Shclesinger, 1992; Курганова, 2010), что говорит о значительной степени нарушенности лесных экосистем ЗБС.

Временная динамика поступления опада отражает происходящие в лесных экосистемах нарушения. По сравнению с периодом 2007-2008 гг. до начала заражения на всех трех подверженных воздействию короеда участках наблюдается сокращение годового опада с 5.26 т/га в год (Копцик и др., 2011) до 4,37 т/га в 2015 год и 3 т/га в 2016 г. в среднем по всем участкам. После образования редин поступление опада на этих участках резко упало до 0,97 г/га в год, что, скорее всего, связано с предшествующей интенсивной дефолиацией, а также со стремительным характером поступления валежа, опад которого миновал ловушки. Елово-березовый лес в отличие от двух других участков не подвергся ветровалу, что способствует его большей устойчивости к заселению ослабленных деревьев короедом-типографом. На данный момент там наблюдается постепенное выпадение древостоя и увеличение опада до 7,11 т/га в 2020 году. Поступление опада в образовавшихся в результате комплексного воздействия ветровала и короеда рединах постепенно увеличивается за счет опада молодого подрастающего леса. В 2015-16 гг. несмотря на снижение годового поступления опада в результате дефолиации, показатели все еще являлись типичными для диапазона величин, свойственных хвойным лесам подзон южной тайги и хвойно-широколиственных лесов – 3-8 т/га (Базилевич, Титлянова, 2008; Копцик и др., 2011). Однако тяготение к нижней границе диапазона свидетельствует об их неустойчивом состоянии. Поэтому ветровалы явились переломным моментом в дальнейшем изменении структуры древостоя.

В 2014-16 гг. во всех трех исследуемых лесах на фоне дефолиации наблюдались значительные величины микробиологических (микробная биомасса) и энергетических (поступление опада, содержание лабильных углерода и азота) показателей. Одним из непосредственных симптомов нарушения в результате вспышки короеда-типографа является преждевременное и немедленное опадание хвои, богатой азотом. Накопление хвои на поверхности почвы в сочетании с ее повышенной влажностью привело к ускоренной минерализации соединений азота и углерода. В 2017 году, когда два участка сложных еловых лесов подверглись сильнейшему ветровалу, наблюдалось резкое обеднение почв микробным и лабильным углеродом, содержание которых восстановилось по мере зарастания лесов лишь к 2020 году. Содержание микробного и лабильного оставалось довольно высоким, близким к тому, что было в момент дефолиации, и затем лишь немного снизилось. По-видимому, азот, высвобождающийся при дефолиации, эффективно удерживается в экосистемах и лишь немного выщелачивается в почвенные воды и выносится за пределы экосистем. Подобное явление было также отмечено G.M. Lovett et al. (2002). В елово-березовом лесу наблюдалась иная картина – по мере постепенной дефолиации, вызванной короедом, все энергетические показатели имеют тренд постепенного увеличения за счет привноса свежего опада, нарастающего с годами.

Заключение. Смертность елей в лесных экосистемах ЗБС варьировала от отдельных особей в елово-березовом лесу до распада древостоя в сложных ельниках со значительным разрежением живых деревьев и накоплением валежной древесины. Эти факторы являются причиной значительной изменчивости запасов и состава органического вещества в почвах, активности микробных сообществ и, в конечном итоге, дыхания почв на нарушенных территориях. В глобальном масштабе даже незначительные изменения дыхания почв,

связанные с естественными или антропогенными нарушениями в лесных экосистемах, могут значительно изменить концентрацию CO_2 в атмосфере, что еще больше усугубит или ослабит глобальное потепление.

Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ №18-04-0102819 «Техногенное загрязнение, деградация почв, ремедиация, никель, медь, мобильность, биодоступность, токсичность, гуминовые препараты, кислотность, растения, микроорганизмы».

ЛИТЕРАТУРА

1. Базилевич Н.И., Титлянова А.А. Биотический круговорот на пяти континентах: азот и зольные элементы в природных наземных экосистемах // Новосибирск: Изд-во СО РАН. 2008. 381 с.
2. Копцик Г.Н., Смирнова И.Е., Ливанцова С.Ю., Копцик С.В., Захарова А.И., Вострецова Е.В. Вклад растительного опада и подстилки в биологический круговорот элементов в лесных экосистемах Звенигородской биостанции // Труды Звенигородской биологической станции. М.: Изд-во Московского университета. 2011. Т. 5. С. 8–17.
3. Курганова И.Н. Эмиссия и баланс диоксида углерода в экосистемах России. Автореферат докт. дисс. М.: МГУ. 2010. 36 с.
4. Bentz B.J., Jönsson A.M., Schroeder M., Weed A., Wilcke R.A.I., Larsson K., Ips typographus and Dendroctonus ponderosae models project thermal suitability for intra-and inter-continental establishment in a changing climate, Frontiers in Forests and Global Change, 2019. V. 2. P. 1–17.
5. Friedlingstein P., Jones M. W., O'sullivan M., Andrew R. M., Hauck J., Peters G. P., Zaehle S., Global carbon budget 2019, Earth System Science Data, 2019, Vol. 11, No. 4, pp. 1783-1838.
6. Kobler J., Jandl R., Dirnböck T., Mirtl M., Schindlbacher A. Effects of stand patchiness due to windthrow and bark beetle abatement measures on soil CO_2 efflux and net ecosystem productivity of a managed temperate mountain forest // European Journal of Forest Research, 2015. V. 134. N. 4. P. 683–692.
7. Kosunen M., Peltoniemi K., Pennanen T., Lyytikäinen-Saarenmaa P., Adamczyk B., Fritze H., Starr M. Storm and Ips typographus disturbance effects on carbon stocks, humus layer carbon fractions and microbial community composition in boreal Picea abies stands // Soil Biology and Biochemistry. 2020. Vol. 148. Article No. 107853.
8. Lloyd J., Taylor J.A. On the temperature dependence of soil respiration // Functional ecology. 1994. P. 315–323.
9. Lovett G.M., Christenson L.M., Groffman P.M., Jones C.G., Hart J.E., Mitchell M.J. Insect defoliation and nitrogen cycling in forests // BioScience. 2002. V. 52. No. 4. P. 335–341.
10. Mayer M., Sandén H., Rewald B., Godbold D.L., Katzensteiner K. Increase in heterotrophic soil respiration by temperature drives decline in soil organic carbon stocks after forest windthrow in a mountainous ecosystem // Functional Ecology. 2017. V. 31. No. 5. P. 1163–1172.
11. Pitman R., Bastrup-Birk A., Breda N., Rautio P., Part XIII: Sampling and analysis of Litterfall, Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests, 2011.
12. Raich J.W., Schlesinger W.H. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate, Tellus B, 1992. V. 44. No. 2. P. 81–99.
13. Solaiman Z. Measurement of microbial biomass and activity in soil // Soil Biology. 2007. V. 11. P. 201–211.

COMBINED INFLUENCE OF BIOTIC AND ABIOTIC STRESS FACTORS ON THE EMISSION OF CARBON DIOXIDE BY SOILS IN FOREST ECOSYSTEMS UNDER A CHANGING CLIMATE

Yu.V. KUPRIIANOVA, G.N. KOPTSIK, M.S. KADULIN, D.V. ILYASOV

Key words: *soil CO_2 efflux, soil respiration, microbial respiration, root respiration, microbial biomass, litterfall, degradation of spruce forests, temperature increase, bark beet-typographer, windy*

ФИТОИНДИКАЦИЯ ВОДНОГО РЕЖИМА, КИСЛОТНОСТИ И ЗАПАСОВ АЗОТА В ПОЧВЕ В ДРЕВЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЯХ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА И ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

ЛЕ КХАНЬ ВУ, В.Ю. НЕШАТАЕВ

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М.Кирова, Санкт-Петербург

Ключевые слова: *азот, почва, растительность, фитоценоз*

Фитоиндикация становится незаменимым методом в случаях, когда прямое измерение комплексных факторов, таких как плодородие, водный режим и др. либо чрезвычайно сложно, трудоемко, либо невозможно. Как отмечал В.И. Василевич (1983), режим местообитания является в принципе бесконечномерной величиной, т.е. абсолютно полная характеристика его содержит бесконечно большое число признаков. В то же время, естественная растительность и почва в своих признаках подытоживают местные условия за длинный ряд лет (Раменский, 1938) и потому единственным прямым и достоверным оценщиком экологических условий является сама растительность (Раменский и др., 1956).

Материалы и методы. Объектом настоящего исследования являлись растительность и почвы Санкт-Петербурга (площадь 1,4 тыс. км^2), включающего кроме городской застройки и городских зеленых насаждений, также обширные лесные массивы Курортного лесопарка (229 км^2), раскинувшегося от его северной границы в 25 км к северу от Зеленогорска, до Ломоносова, Павловска, Петродворца, Пушкина на юге. Почвы с ненарушенным строением почвенного профиля (естественные почвы) на территории Санкт-Петербурга частично сохранились в лесных массивах лесопарков Сосновка, Пискревский, Ново-Орловский и др. Основными почвообразующими породами в Санкт- Петербурге являются озерно-ледниковые пески и супеси, аллювиальные пески, ленточные глины и кембрийские глины, небольшие площади занимают почвы, подстилаемые известняками на Дудергофских высотах (Апарин, Сухачёва, 2014).

В основу нашей работы положено около 800 геоботанических и почвенных описаний на пробных площадях (ПП) размерами 20×20 м, выполненные на территории города и Ленинградской обл. На ПП определяли проективное покрытие видов растений по видам и ярусам, измеряли среднюю мощность верхних горизонтов почвы в 20 прикопках и описывали почвенный разрез глубиной 1–1.5 м. Лабораторные анализы включали определение *pH* водной и солевой (*KCl*) вытяжки, общего азота по Къёльдалю, объёмного веса почвы по горизонтам. На основе этих данных рассчитывали запас общего азота в слое 0–20 см и 0–100 см и проведили корреляционный анализ связи запасов азота с показателями богатства-засоления (БЗ), определенными по шкалам Л. Г. Раменского и др. (1956). По методу Л. Г. Раменского нами были построены индикационные шкалы для большинства видов растений, встречающихся в зеленых насаждениях г. Санкт-Петербурга (более 100 видов), позволяющие по составу фитоценоза определять солевой *pH* органических горизонтов почвы. Для выявления связи показателей увлажнения, определенных по шкалам Л. Г. Раменского и др. (1956) использовали данные 3-летних наблюдений В. Н. Федорчука и В. Ю. Нешатаева за уровнями грунтовых вод (УГВ), проведенных в 1979–1985 гг. на 18 ПП, заложенных в различных типах леса в Гатчинском р-не Ленинградской обл. В мае и сентябре наблюдения проводили каждые 5 дней, а с июня по август – каждые 10 дней.

Результаты. Сравнение измеренных и индицируемых по составу фитоценозов с использованием разработанных нами шкал значений *pH* для 45 пробных участков, представленных 7 типами леса, показало удовлетворительное совпадение измеренных и

расчетных значений *pH*. Коэффициент детерминации – 0.9, средняя погрешность – 0.03 единицы *pH*.

Связь запасов азота в слоях почвы мощностью 0.2 м и 1 м для нормально и сильно дренированных местообитаний описывается уравнением параболы и характеризуется коэффициентом детерминации 0.91, 0.89.

Наиболее тесная связь методом корреляционного анализа установлена между ступенью увлажнения, определённой по шкалам Л. Г. Раменского и количеством декад, в течение которых наблюдали уровень УГВ выше 20 см от поверхности почвы. Высокий коэффициент детерминации (0.85) позволяет утверждать, что ступени увлажнения, определяемые по составу фитоценоза по шкалам Л. Г. Раменского, тесно связаны с режимом увлажнения и УГВ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Апарин Б.Ф., Сухачёва Е.Ю. Принципы создания почвенной карты мегаполиса (на примере Санкт-Петербурга) // Почвоведение. 2014. № 7. С. 790–802.
2. Василевич В.И. Очерки теоретической фитоценологии. М – Л.: Наука, Ленингр. отделение, 1983. 248 с.
3. Раменский Л. Г. Введение в комплексное почвенно-геоботаническое исследование земель. М.–Л., 1938. 620 с.
4. Раменский Л.Г., Цаценкин И.А., Чижиков О.Н., Антипин Н.А. Экологическая оценка кормовых угодий по растительному покрову. М.: Сельхозгиз, 1956. 472 с.

PHYTOINDICATION OF WATER REGIME, ACIDITY AND NITROGEN RESERVES IN SOIL IN WOOD PLANTS OF SAINT PETERSBURG AND LENINGRAD REGION

LE KHAN WU, V.Yu. NESHATAEV

Key words: *nitrogen, soil, vegetation, phytocenosis*

КРУГОВОРОТ АЗОТА И ЗОЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В СТАРОВОЗРАСТНОМ ЕЛЬНИКЕ НА БОЛОТНО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ

Н.В. ЛИХАНОВА[1] К.С. БОБКОВА[2]

[1]Сыктывкарский государственный университет имени Питирима Сорокина, г. Сыктывкар
[2]Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар

Ключевые слова: *азот, ельник, зольные элементы, круговорот веществ, опад, продукция, Север России, средняя тайга, фитомасса*

Исследования ориентированы на получение сведений о круговороте элементов минерального питания в системе почва-фитоценоз спелого ельника долгомошно-сфагнового на болотно-подзолистых почвах, что во многом характеризует интенсивность процессов, обеспечивающих их современное функционирование в подзоне средней тайги.

Исследуемый ельник расположен в подзоне средней тайги на территории Чернамского лесного стационара Института биологии Коми НЦ УрО РАН (62°01' с.ш., 52°28' в.д.). Массу и продукцию органического вещества определяли по методу модельных деревьев. Надземную массу растений напочвенного покрова определяли методом укосов на уровне почвы буром диаметром 10 см в 40-кратностью. Ее продукцию вычисляли, отделяя побеги текущего года у 80-100 растений. Массу опада осуществляли с помощью 18-ти опадоулавливателей площадью 0,5*0,5 м. Содержание азота в растительных образцах проводилась методом газовой хроматографии. Концентрации кальция, кремния, магния, марганца определены с использованием метода зольного анализа. Калий, натрий, фосфор, железо и алюминий оценены методом плазменной фотометрии.

Ельник долгомошно-сфагновый формирует разновозрастный, разновысотный древостой V класса бонитета, полнотой 0,7. Древесный ярус имеет состав 7Е2Б1С. Присутствует довольно много сухих деревьев ели. В подлеске встречаются единично кусты рябины, ивы, шиповника. Подрост удовлетворительного состояния образован в основном елью. Травяно-кустарничковый ярус с проективным покрытием около 40 % составлен черникой, брусникой, морошкой, хвощом, осокой шаровидной. Моховой покров почти сплошной формирует в основном кукушкин лен (*Polytrichum commune*) в сочетании со сфагновым и редко зелеными мхами (Hylocomium splendens, *Pleurozium schreberi*). Ельник развивается на слабодренированных торфянисто-подзолисто глееватых гумусово-железистых супесчаных на суглинках почвах.

Установлено, что органическое вещество 163,46 т га$^{-1}$ фитоценоза старовозрастного ельника долгомошно-сфагнового на болотно-подзолистых почвах аккумулирует 1329,84 кг га$^{-1}$ азота и зольных элементов. Ряд накопления минеральных элементов, заключенных в фитомассе располагается следующим образом: N>Ca>K>Si>Mg>P>Mn>Al>Fe>Na. Из зольных элементов относительно большей емкостью накопления (45,5%) обладают кальций, калий и кремний. На формирование годичной продукции фитомассы 5,98 т га$^{-1}$ из почвы выносится 136,18 кг га$^{-1}$, с годичным опадом 3,05 т га$^{-1}$ поступает на поверхность почвы 107,0, а с атмосферными осадками 17,8 кг га$^{-1}$ элементов минерального питания. В процессе деструкции за год высвобождается 37,0 кг га$^{-1}$ элементов. Главным источником химических элементов является лесная подстилка с запасом органического вещества 75,1 т га$^{-1}$, где сосредоточено 2421,79 кг га$^{-1}$ азота и зольных элементов. Распределение минеральных элементов в ней азотно-кальциево-кремниевое: N>Ca>Si>Fe>Al>K>Mn>Mg>P>Na. В подстилке среднетаежных ельников зеленомошной группы на автоморфных подзолистых

почвах (Арчегова и др., 1975; Бобкова и др., 2020) рассматриваемого региона концентрируется 1044-1415 кг га$^{-1}$ азота и зольных элементов, что в 1,4-2,3 раза меньше чем в исследуемом нами ельнике долгомошно-сфагновом на болотно-подзолистых почвах. Характерно для данного ельника то, что в подстилке аккумулируется в 18 раз больше элементов питания, чем выноситься на формирование продукции фитомассы. Количественная оценка современного состояния бюджета азота и зольных элементов в ельнике на болотно-подзолистых почвах послужит основой для разработки мероприятий, направленных на увеличение их продуктивности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арчегова И.Б., Заболоцкая Т.Г., Кононеко А.В., Русанова Г.В., Слобода А.В., Юдинцева И.И. Продуктивность и круговорот элементов в фитоценозах Севера. Л.: Наука, Ленинградское отделение, 1975. 130 с.
2. Бобкова К.С., Робакидзе Е.А., Торлопова Н.В. Круговорот элементов минерального питания в экосистеме коренного разнотравно-черничного ельника средней тайги (Республика Коми) // Сибирский лесной журнал. 2020. № 2. С. 40–54.

THE CYCLE OF NITROGEN AND ASH ELEMENTS IN AN OLD-GROWTH SPRUCE FOREST ON BOG-PODZOLIC SOILS

N.V. LIKHANOVA, K.S. BOBKOVA

Key words: *north of Russia, middle taiga, spruce forest, phytomass, production, litter, nitrogen, ash elements, circulation of substances.*

ВЛИЯНИЕ РЕЛЬЕФА НА ФОРМИРОВАНИЕ ЛЕСНЫХ ПОЧВ В ПРОЦЕССЕ САМОВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ СУКЦЕССИИ В ПОДЗОНЕ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ (РЕСПУБЛИКА КОМИ)

И.А. ЛИХАНОВА[1], С.В. ДЕНЕВА[1], Е.Г. КУЗНЕЦОВА[1], Е.М. ЛАПТЕВА[1],
Ю.В. ХОЛОПОВ[1], А.В. УЛЯШЕВ[2]

[1]Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар
[2]Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта

Ключевые слова: *гидроморфизм, древнеаллювиальные отложения, карьер, первичное почвообразование, рельеф, северо-восток европейской части России, средняя тайга*

В таежной зоне на северо-востоке европейской части России изучали формирование почв на древнеаллювиальных отложениях в ходе самовосстановительной сукцессии. Первичные сукцессии на техногенных местообитаниях – удобная модель выяснения закономерностей стартового этапа формирования наземных экосистем (Абакумов, Гагарина, 2006; Сумина, 2013). Выявлены особенности первичного почвообразования на субстратах, различающихся между собой условиями увлажнения, обусловленными положением в рельефе.

Объектом исследования послужил карьер «Язель» (N61°57'35", E50°36'22"), расположенный в окрестностях п. Язель Сыктывдинского района Республики Коми. Карьер находится на территории надпойменной (боровой) террасы р. Вычегда. В карьере до начала 70-х годов осуществлялась добыча строительных материалов (песка), затем он был оставлен на самозарастание. Площадь карьера составляет 8 га. Планировка поверхности днища карьера в пределе его контура после окончания антропогенного воздействия не проводилась, что обусловило неоднородность рельефа и набор различных экотопов (сухих, свежих, влажных, мокрых). В ряду увеличения увлажнения (от автоморфных условий к гидроморфным) в 2018-2021 годах были заложены четыре участка, отличающихся по структуре и строению почвенно-растительного покрова: Т1 – сосняк лишайниковый на псаммоземе глееватом (84-85 м над ур. м.), Т5 – сосняк полиево-политриховый на псаммоземе глееватом (83 м над ур. м.), Т2 – сосняк мервопокровный на псаммоземе гумусовом грубогумусированном оподзоленном глееватом (82 м над ур. м.), Т3 – осоковник варнсторфиевый на псаммоземе гумусовом глеевом (80-81 м над ур. м.).

В первые пять десятилетий восстановительного процесса в автоморфных условиях при формировании сосняков лишайниковых образуется органогенный горизонт небольшой мощности (до 0,5 см). В более влажных условиях мощность органогенного горизонта возрастает: в сосняке мертвопокровном до 2-3 см, в осоковнике – до 4-6 см. Содержание Сорг. в верхнем минеральном горизонте заметно выше в почве осоковника (1,6%) по сравнению с почвой сосняка лишайникового (0,6%). В соответствии с накоплением органического вещества на/в субстрате закономерно происходит увеличение содержания элементов биогенов. Так, отмечено увеличение ω(P_2O_5) по Кирсанову от 3-9 мг/100 г в.с.п. в автоморфных условиях, до 6-14 мг/100 г в.с.п. в гидроморфных. В рассмотренном ряду увеличивается кислотность: в сухих экотопах минимальное значение pHводн почв в. минеральных горизонтах составляло 4,8, в гидроморфных – 4,1-4,5. Процессы выноса мелкодисперсных фракций, либо их аккумуляция определяют содержание тонкодисперсных фракций. В нижней части почвенного профиля (40-60 см) псаммозема глееватого в формирующемся сосняке лишайниковом сумма частиц <0.01 составляла 5,4%, в псаммоземе гумусовом глеевом осоковника на границе верховодки данный

показатель достигал 47,0%. В почвах более влажных экотопов отмечено увеличение содержания оксидов железа и алюминия: если в почве сосняка лишайникового ω Al_2O_3 (по Тамму) составляла 0,03-0,04 %, ω (Fe_2O_3) (по Тамму) – 0,02-0,05%, то в почве осоковника 0,1-0,2 % и 0,2-1,0 %, соответственно.

Анализ морфологического строения профиля и химического состава почв показал, что рельеф оказывает влияние на начальное почвообразование следующим образом: в дренированных (ксерофитных, мезофитных) условиях преобладающими почвенными процессами являются подстилкообразование и оподзоливание, в гидроморфных (гигрофитных) условиях – формирование оторфованной дернины и глееобразование.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ИБ Коми НЦ УрО РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абакумов Е.В., Гагарина Э.И. Почвообразование в посттехногенных экосистемах карьеров на северо-западе Русской равнины. СПб: Изд-во СПбГУ, 2006. 208 с.
2. Сумина О.И. Формирование растительности на техногенных местообитаниях Крайнего Севера России. СПб.: Информ-Навигатор, 2013. 340 с.

INFLUENCE OF RELIEF ON THE FORMATION OF FOREST SOILS IN THE PROCESS OF SELF-REGENERATING SUCCESSION IN THE MIDDLE TAIGA SUBZONE (KOMI REPUBLIC)

I.A. LIKHANOVA, S.V. DENEVA, E.G. KUZNETSOVA, E.M. LAPTEVA, Yu.V. KHOLOPOV, A.V. ULYASHEV

Key words: *primary soil formation, quarry, ancient alluvial deposits, relief, hydromorphism, middle taiga, northeast of the European part of Russia*

ВЛИЯНИЕ N НА МИНЕРАЛИЗАЦИЮ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА И ЕЕ ТЕМПЕРАТУРНУЮ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ В ПОЧВАХ ЕЛЬНИКА И ЛЕСНОЙ ПОЛЯНЫ

А.И. МАТВИЕНКО[1], Е.В. СИДЕЛЕВА[2], О.В. МЕНЯЙЛО[1]

[1]Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, г. Красноярск
[2]Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Ключевые слова: *Q10, ельник, минерализация почвы, поляна*

При оценке углерод-депонирующей роли экосистем особое внимание уделяется почвам, как значимому резервуару органического углерода. Величина потерь почвенного углерода (С) в атмосферу в результате микробного разложения является функцией количества С в почве, качества органического вещества, а также физических, химических и биологических факторов, составляющих среду для разложения. Глобальное изменение климата и антропогенные факторы могут оказывать существенное влияние на процессы и запасы почвенного С.

В нашем исследовании изучался отклик на внесение азотного удобрения скорости минерализации почвенного С, ее температурной чувствительности в двух экосистемах: ельника и лесной поляны. Актуальность исследования связана с нацеленностью современного общества на сокращение площадей земель непокрытых лесной растительностью.

Почвенные образцы верхнего минерального горизонта А (5–10 см) отбирались на многолетнем эксперименте с лесными культурами Института леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, в 50 км от Красноярска. Инкубацию и измерение потока CO_2 проводили с помощью автоматической системы (Громова и др., 2020). Инкубация образцов длилась почти полтора года (530 суток). Нитрат аммония вносили однократно в начале эксперимента в дозе 170 мкг N/г почвы. Измерение потока CO_2 проводилось через определенные промежутки времени (3, 17, 50, 120, 148, 179, 209, 242, 342, 403, 530 день от начала эксперимента) при трех температурах 25, 15 и 5 °С. Между измерениями образцы инкубировались при температуре 15 °С. Статистическая обработка данных CO_2 и Q10 выполнена в программе Statistica 11.

Обнаружено, что скорость выделения CO_2 во время эксперимента уменьшилась примерно в 10 раз и была значимо в больше в образцах почвы ельника, чем в образцах с поляны. Эффект внесения азотного удобрения обнаружен только под елью. С 1 по 17 сутки внесение азота увеличивало поток CO_2, с 50 по 530 сутки наблюдался ингибирующий эффект. Как правило, добавление азота благоприятно сказывается на продуктивности и росте биомассы гетеротрофных микроорганизмов, минерализующих активного пул почвенного органического вещества. За время инкубации разлагаемость снижается по мере потери лабильного материала, поэтому смена эффекта предполагает реакцию разных стадий разложения органического вещества (пулов почвенного С) на поступивший азот (Gill et al., 2021).

Суммарное количество углерода, выделившееся из образцов за 530 дней инкубации, составило 4.2 ± 0.18 % от содержащегося Сорг. в почвах поляны и 6.2 ± 0.24 % от Сорг. из почв ельника. Внесение удобрения в почвах ельника значимо сократило выделение С до 3.6 ± 0.04 %.

Температурная чувствительность минерализации (Q10) в двух разных диапазонах температур 25 – 15 °С и 15 –5 °С для активных пулов была посчитана, как среднее по значениям с 1 по 50 сутки, а для медленного как среднее с 120 по 530 сутки, исходя из

предположения, что за 120 дней происходит изменение лабильности разлагаемого органического вещества (Conant et al., 2008). Было установлено, что Q10 активных пулов для почв ельника и поляны больше в низком температурном диапазоне, и еще увеличивается при внесении азота. Температурная чувствительность медленного пула почв поляны не зависит ни от температурного диапазона, ни от внесения азота.

Результаты показывают, что скорость минерализации органического вещества почв и влияние на нее азота зависит от типа экосистемы. Температурная чувствительность минерализации лабильного органического вещества почв увеличивается при внесении азота в температурном диапазоне 15 – 5 °C, свойственном для минеральных горизонтов почв 5-10 см во время вегетационного периода в умеренных широтах.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 19-29-05122мк Разработка и апробация нового метода (на основе стабильных изотопов) для оценки скорости стабилизации свежего органического вещества в почве).

ЛИТЕРАТУРА

1. Громова М.С., Матвиенко А.И., Макаров М.И., Ченг Ш.К., Меняйло О.В. Температурная чувствительность (Q10) базального дыхания как функция количества доступного углеродного субстрата, температуры и влажности // Почвоведение. 2020. № 3. С. 366–371.
2. Conant R.T., Drijber R.A., Haddix M.L., Parton W.J., Paul E.A., Plante A.F., ... & Steinweg J.M. Sensitivity of organic matter decomposition to warming varies with its quality // Global Change Biology. 2008. V. 14(4). P. 868–877.
3. Gill A.L., Schilling J., Hobbie S.E. Experimental nitrogen fertilisation globally accelerates, then slows decomposition of leaf litter // Ecology letters. 2021. V. 24. No. 4. P. 802–811.

EFFECT OF N ON ORGANIC MATTER MINERALIZATION AND ITS TEMPERATURE SENSITIVITY IN THE SOILS UNDER SPRUCE FOREST AND MEADOW

A.I. MATVIENKO, E.V. SIDELEVA, O.V. MENAILO

Key words: *spruce forest, meadow, soil mineralization, Q10*

ДИНАМИКА ЛЕТНЕГО ЭМИССИОННОГО ПОТОКА CO_2 С ПОВЕРХНОСТИ ПОЧВ В СОСНОВЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ СИБИРИ: КОЛИЧЕСТВО ОСАДКОВ КАК ОПРЕДЕЛЯЮЩИЙ ФАКТОР

А.В. МАХНЫКИНА[1], Д.А. ПОЛОСУХИНА[2], А.С. ПРОКУШКИН[2]

[1]Сибирский федеральный университет, г. Красноярск
[2] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, г. Красноярск

Ключевые слова: *Birch effect, бореальная зона, влажность почв, осадки, почвенная эмиссия, средняя тайга, температура почв*

Леса бореальной зоны, обладая высокой чувствительностью к изменению внешний условий среды, являются глобальным резервуаром углерода. Они содержат примерно 20% углерода в наземных экосистемах, большая часть которого хранится под землей в органическом веществе почв (Bradshaw, Warkentin, 2015; IPCC, 2013).

Почвенная эмиссия углерода играет важную роль в наземном углеродном цикле, поскольку объединяют процессы разложения органического вещества и дыхания корней (Wu, 2020). Ожидается, что климатические изменения станут триггером для поступления большего количества CO_2 в атмосферу из-за его чувствительности к глобальному потеплению (Davidson, Janssens 2006). Однако динамика эмиссионного потока CO_2 с поверхности почв все еще недостаточно изучена из-за высокой изменчивости наземных экосистем (Bond-Lamberty, Thomson, 2010).

Основными факторами, в наибольшей степени контролирующими процесс почвенного дыхания в наземных экосистемах, являются температура и влажность почвы. Однако на сегодняшний день вопрос о влиянии атмосферных осадков становится все более актуальным. Известно, что так называемый «Birch effect» (Birch, 1858) проявляется при сильном увлажнении или засухе способствуя высвобождению дополнительное количество CO_2 из почвы в атмосферу.

В нашей работе на примере двух вегетационных сезонов мы изучили как атмосферные осадки влияют на эмиссионные потоки CO_2 из почв на территории среднетаежных экосистем, а также какой из факторов – влажность почвы или интенсивность осадков оказывает большее влияние на формирование эмиссионного потока.

Исследования проводились в Туруханском районе Красноярского края на базе международной научной обсерватории «ZOTTO» (60°48'00.0"N, 89°21'00.0"E). В качестве объектов исследования были выбраны сосновые биогеоценозы, как один из доминирующих типов леса в районе исследования, а также как объект лесосырьевой базы региона. Район исследования относится к Кеть-Сымской низменности, что определяет характер климатических переменных региона. Климат района резко-континентальный, амплитуда колебания среднемесячных температур может достигать 42°C (Плешиков, 2002).

Измерения почвенной эмиссии проводилось с использованием автоматизированного комплекса Li-8100A (Li-cor Biogeosciences Inc., Lincoln, USA). Измерение температуры почвы проводились на трех глубинах – 5, 10 и 15 см от поверхности с помощью почвенного температурного датчика Soil Temperature Probe Type E (Omega, США). Для измерения объемной влажности SWC (5 см от поверхности почвы) использовался влагомер Theta Probe Model ML (Delta T Devices Ltd., Великобритания). В качестве сильных дождей мы определили атмосферные осадки более 10 мм за сутки. Рассмотренные нами сезоны 2020 и 2021 гг. существенно отличались по условиям увлажнения. В сезон 2020 количество сильных дождей

было порядка 9, в сезон 2021 года количество сильных дождей за период до середины августа – 3.

Различия в условиях увлажнения отразились на скорости эмиссионных потоков CO_2. Средний поток CO_2 за сезон 2020 года составил в среднем 4.18 ±1.0, в сезон 2021 (до середины августа) 1.76 ± 0.2 μмоль CO_2 $м^{-2}$ $с^{-1}$.

Было установлено, что в первой половине сезона, при сильных осадках поток CO_2 с поверхности почвы в первый и последующие 2 дня после дождя сохраняется на высоком уровне – в 3-4 раза выше, чем средний поток за предыдущие дни. Во второй половине сезона тенденция несколько изменяется – наблюдалось лишь двукратное увеличение эмиссии после сильных дождей. Одной из причин тому является уменьшение частоты сильных атмосферных осадков, а также снижение температуры, как фактора, увеличивающего скорость почвенной эмиссии.

Влияние влажности почв прослеживается на всем протяжение сезона ($r = 0.5$, $p<0.05$), исключая лишь периоды, когда значения влажности выше или равно оптимальным значения (SWC=30%) для рассматриваемого региона.

Таким образом, проанализировав полученные результаты можно заключить, что сильные дожди приводят к быстрому импульсному ответу со стороны почвенной эмиссии и как следствие выбросу в атмосферу дополнительного количества CO_2 из почвы.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, Правительства Красноярского края и Красноярского краевого фонда науки в рамках научного проекта № 20-44-243003.

ЛИТЕРАТУРА

1. Плешиков Ф.И. Лесные экосистемы Енисейского меридиана. Новосибирск: Наука, 2002. 356 с.
2. Birch H.F. Pattern of humus decomposition in east African soils // Nature. 1858. V. 181. P. 788.
3. Bond-Lamberty B., Thomson A. Temperature-associated increases 491 in the global soil respiration record // Nature. 2010. V. 464. P. 579–582.
4. Bradshaw C.J.A., Warkentin I.G. Global estimates of boreal forest carbon stocks and flux // Glob. Planet. Change. 2015. V. 128. P. 24–30.
5. Davidson E.A., Janssens I.A. Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change // Nature. 2006. V. 440. P. 165–173.
6. IPCC 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contributionn of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
7. Wu J. Temporal variations in soil CO_2 efflux in an alpine meadow 632 site on the Qinghai–Tibetan Plateau // Grassland Science. 2020. V. 66. No. 1. P. 3–15.

DYNAMICS OF THE SUMMER CO2 EMISSION FLUX FROM THE SOIL SURFACE IN PINE ECOSYSTEMS OF CENTRAL SIBERIA: THE AMOUNT OF PRECIPITATION AS A DETERMINING FACTOR

A.V. MAKHNYKINA, D.A. POLOSUKHINA, A.S. PROKUSHKIN

Key words: *soil emission, precipitation, soil moisture, soil temperature, middle taiga, Birch effect, boreal zone*

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ МИКРОБИОТЫ ПОЧВ СОСНЯКА БРУСНИЧНОГО СРЕДНЕТАЕЖНОЙ ПОДЗОНЫ КАРЕЛИИ (НА ПРИМЕРЕ ЗАПОВЕДНИКА «КИВАЧ»)

М.В. МЕДВЕДЕВА[1], О.Н. БАХМЕТ[2], Е.В. МОШКИНА[1], А.В. МАМАЙ[1]

[1]Институт леса Карельского научного центра Российской академии наук, ФИЦ "Карельский научный центр РАН", г. Петрозаводск
[2]Отдел комплексных научных исследований Института леса Карельского научного центра Российской академии наук, ФИЦ "Карельский научный центр РАН", г. Петрозаводск

Ключевые слова: *биологическая активность почв, заповедная территория, лесные экосистемы, микробоценоз*

Почвенная биота является важным элементом лесных экосистем, показателем качества почв, главным оценочным критерием состояния среды. Микроорганизмы – надежные индикаторы происходящих в почве процессов. Они определяют темп и направленность трансформации органического вещества, формирование гумусного состояния почв, круговорот элементов-биофилов в наземных экосистемах (Абрамян, 1992; Загуральская, 1993, Звягинцев и др., 1994; Кожевин, 1989; Федорец, Бахмет, 2003). Изменение структурно-функциональной организации на фоне природно-техногенного воздействия сопровождается нарушением ее функциональной активности. Сложная микробиально-биохимическая обстановка, которая формируется в нарушенных почвах, определяет продукционную способность лесных экосистем, их адаптационный потенциал к неблагоприятным факторам среды. В этой связи сопряженное исследование продуктивности лесных сообществ, генезиса и лесорастительных свойств почв, состояние микробиоты является необходимым условием при изучении последствий природно-техногенного воздействия, определении мероприятий по реабилитации педосреды (Евдокимова, 1995; Медведева и др., 2018; Сорокин и др., 2006).

Исследование проводили на постоянных пробных площадях в заповеднике «Кивач». Изучаемые типы сосновых биогеоценозов составляют экологический ряд по увлажнению: сосняк багульниково-сфагновый – сосняк черничный-сосняк брусничный-сосняк лишайниковый. В работе использовали традиционные методы исследования микробоценоза почв ненарушенных лесных экосистем (Методы…, 1991). Почвообразующими породами являются флювиогляциальные отложения, широко распространенные на территории Карелии. На примере исследованного экологического рядах почв по увлажнению установили изменение эколого-трофической структура микробного сообщества почв. Выявили, что наиболее выраженные изменения в экологическом ряду прослеживаются в ценозе микроорганизмов, утилизирующих органические и минеральные соединения азота. Увеличение коэффициента минерализации, по мере увеличения гидроморфизма почв, свидетельствует о снижении процессов микробной трансформации органического вещества, заторможенности биосинтетических процессов. Наиболее благоприятные условия для развития микроорганизмов и проявления их функциональной активности складываются в почвах сосняке черничном. Отмечается высокая численность бактерий, утилизирующих органические соединения азота. В микробном сообществе аммонификаторов выделяются *B.subtilis, idosus, mesentericus*. Микоценоз представлен не только пенициллами, также отмены представители рода триходерама, которые являются достаточно редкими в миколитическом сообществе почв, сформировавшихся под сосняком лишайниковым. Сенситивным к изменению эколого-трофических условий является комплекс целлюлозоразрушающих

микроорганизмов. Несмотря на то, что ценоз целлюлолитиков был однородным и представлен в основном микромицетами, однако при благоприятном сочетании тепла и влаги его активность была высокая. Проявление последнего хорошо отмечали в почвах под сосняком черничным. Наиболее низкое биоразрушение целлюлозы отмечено в сосняке лишайниковом. Можно предположить, что лишайниковые кислоты оказывают бактериостатическое воздействие на микробиоту, оказывать ингибирующее влияние на ее функциональное проявление. Интересно отметить, что в лабораторных условиях, при заданных параметрах температуры и влажности, ставили модельный опыт, целью которого было активировать целлюлолитиков почв ненарушенных лесных экосистем. Однако, заметного увеличения их численности и целлюлозолитической способности не обнаружили. Это свидетельствует о том, что лимитирующим фактором развития микробоценоза в лесных почвах является содержание элементов минерального питания, недостаток которых в исследуемых почвах известен.

Полученные данные являются основой для изучения круговорота биофильных элементов, исследования трофического режима почв.

Авторы выражают благодарность директору заповедника "Кивач" С. В. Кожевникову и его коллегам за помощь при проведении полевых работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамян С.А. Изменение ферментативной активности почв под влиянием естественных и антропогенных факторов // Почвоведение. 1992. № 7. С. 70–82
2. Евдокимова Г.А. Эколого-микробиологические основы почв Крайнего. Рос. АН, Кол.науч. центр, Ин-т пробл. пром. экологии Севера, YNEP. Апатиты: КНЦ РАН, 1995. 345 с.
3. Загуральская Л.М. Микробная трансформация органического вещества в лесных почвах Карелии. СПб.: Наука, 1993. 136 с.
4. Звягинцев Д.Г., Добровольская Т.Г., Полянская Л.М., Чернов И.Ю. Теоретические основы экологической оценки микробных ресурсов почв // Почвоведение. 1994. № 4. С. 65–73.
5. Кожевин П. А. Микробные популяции в природе. М.: Изд-во МГУ, 1989. 175с.
6. Медведева М.В., Мамай А.В., Бахмет О.Н., Мошкина Е.В. Микробиологические основы трансформации азот- и углеродсодержащих соединений в почвах урбанизированных территорий // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2018. № 3 (172). С. 20–27.
7. Методы почвенной микробиологии и биохимии (под ред. Д.Г. Звягинцева) М.: МГУ, 1991. 304 с.
8. Сорокин Н.Д., Макушкин Э.О., Корсунов В.М., Афанасова Е.И., Шахматова Е.Ю. Микробные комплексы гидроморфных почв дельты Селенги (Байкальский регион) // Почвоведение. 2006. № 7. С. 855–860.
9. Федорец Н.Г., Бахмет О.Н. Экологические особенности трансформации соединений азота и углерода в лесных почвах. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2003. 240 с.

ASSESSMENT OF THE STATE OF SOIL MICROBIOTA OF LINGONBERRY PINE IN THE MIDDLE TAIGA SUBZONE OF KARELIA (ON THE EXAMPLE OF THE KIVACH NATURE RESERVE)

M. V. MEDVEDEVA, O. N. BAKHMET, E.V. MOSHKINA, A.V. MAMAI

Key words: *forest ecosystems, microbiocenosis, biological activity of soils, protected area*

ГАЗООБМЕН CO_2 С ПОВЕРХНОСТИ ПОЧВЫ НА ВЫРУБКЕ ПОД РАЗНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТЬЮ

А.Г. МОЛЧАНОВ

Институт лесоведения РАН, с. Успенское, Московская область

Ключевые слова: *эмиссия, почва, растительность, древостой*

Сплошная рубка является распространенным лесохозяйственным мероприятием: как с плановыми рубками спелых и перестойных древостоев, так и с санитарной рубкой леса. Изъятие большого количества фотосинтезирующей биомассы из лесной экосистемы, оказывает существенное влияния на экологические, метеорологические и гидрологические условия территории. После вырубки наблюдаются значительные изменения интенсивности биологического круговорота веществ в почве, обмена парниковыми газами между земной поверхностью и атмосферой.

Исследования проводилось на территории Центрально-Лесного государственного заповедника. Древостой, идентичный вырубленному, примыкающий к вырубке, в котором проводились исследования имел состав 6Б4Ос во втором ярусе ель, древостой возрасте 90 лет. Почва в пределах исследуемой вырубки и окружающего леса была дренированная, дерново-подзолистая, суглинистая. Изучение газообмена CO_2 с поверхности почвы проводилось одновременно на вырубке: под возобновлением осины, под златой розгой, под камышом и под пологом идентично вырубленного древостоя в 20 м от вырубке. Скорость эмиссии CO_2 с поверхности почвы (*F*) определялась с помощью метода экспозиционных камер по открытой схеме методом, предложенным Эдвардсом и Золлинсом (Edwards, Sollins, 1973), и рассчитывалась по формуле:

$$F = (10^6 \times 273 \times V \times ([CO2к] - [CO2а]))/(22.4 \times 100 \times (273+T) \times S \times 60),$$

где *F* – дыхание почвы, мкмоль/(м^2 с); *V* – скорость воздушного потока воздуха, проходящего чрез камеру, л/м, *T* – температура воздуха, °С ; *S* – площадь поверхности почвы под камерой, см^2.

При измерениях участок почвы накрывался прозрачной камерой диаметром 20 и высотой 10 см. Каждую камеру устанавливали так, чтобы растительности в ней не находилось, таким образом мы определяли эмиссию CO_2 с поверхности почвы с корнями растений произрастающих вокруг камеры. С помощью внешнего насоса обеспечивался постоянный проток окружающего атмосферного воздуха через камеру со скоростью 60÷120 л/ч. На входе и выходе из камеры концентрация CO_2 измерялась с помощью портативного инфракрасного газоанализатора LI-820 (Li-Cor Inc., США). Подробное изложение использованной методики измерений представлено в ранее опубликованных работах (Татаринов и др., 2009; Молчанов и др., 2017).

Полученные результаты показывают значительную изменчивость эмиссии CO_2 с поверхности почвы в зависимости от типа растительности, произрастающей на ней. Так в лесу у ствола осины эмиссия CO_2 с поверхности почвы была 11.2 ±1.7 мкмоль/(м^2 с), а между стволами 13.2±3.2 мкмоль/(м^2 с). Наши предыдущие исследования в ельнике в Подмосковье (Молчанов и др., 2017) были несколько иными. Там у ствола ели в один год интенсивность эмиссии у ствола была практически одинаковой с интенсивностью эмиссии между стволами; в другой год у ствола была интенсивность в дневное время почти в два раза выше (3 и 1.5 мкмоль/(м^2 с)). В Тверской области в ельнике в июле эмиссия CO_2 при температуре почвы 17 °С была немного выше - 5 мкмоль CO_2/м^{2}с, а в сосновом древостое была практически такая же интенсивность эмиссии CO_2.(Молчанов, Татаринов, 2017). В дубраве лесостепной зоны эмиссия CO_2 меняется от 13 до 22 мкмоль/(м^2 с) (Молчанов, 2020,

Молчанов и др., 2017). Таким образом в нашем березово-осиновом древостое интенсивность эмиссии CO_2 с поверхности почвы значительно выше, чем в хвойных древостоях и ближе к дубовому древостою в лесостепной зоне. По-видимому, хвойный опад по сравнению с лиственным (березы и осины) разлагается значительно медленнее. Зависимости эмиссии CO_2 от температуры воздуха в пределах 17-25 °С не наблюдается, а с увеличением до 35°С происходит снижение на 30%.

Рассмотрим как различается эмиссия CO_2 на вырубке под различными растениями. Так под подростом осины высотой около 1 м. эмиссия CO_2 с поверхности почвы при температуре 17-35 °С была в среднем 20.6 ±6.8 мкмоль/(м^2 с). Под златой розгой эмиссия CO_2 с поверхности почвы на 30 % ниже, чем под подростом осины, при этом с увеличением температуры эмиссия несколько увеличивается, но это увеличение недостоверно, так как наблюдается значительный разброс данных. Эмиссия CO_2 с поверхности почвы под камышом наименьшая, в среднем 12.4 мкмоль/(м^2 с), и составила 60% от эмиссии на вырубке под подростом осины. Таким образом, под камышом эмиссия такая же, как и в лесу.

В дни с разными погодными условиями эмиссия CO_2 с поверхности почвы меняется. Так 30 июля день был со сплошной облачностью и температурой 17,3 °С, а 31 июля был малооблачный со среднедневной температурой 30,9 °С. В лесу между деревьями различие оказалось незначительным - 11.8 и при высокой температуре - 13.4 мкмоль/(м^2 с). Увеличение температуры на 13 градусов привело к увеличению эмиссии CO_2 всего на 14%. На вырубке под всеми растениями эмиссия CO_2 также с увеличением температуры воздуха увеличилась и также незначительно, как и под пологом леса - на 13%, только под камышом увеличилась на 38%, однако абсолютное значение было также незначительным, и величина оказалась даже ниже, чем в лесу.

Проведенное исследование показало, что интенсивность эмиссии CO_2 с поверхности почвы на вырубке и в лесу (мелколиственного перестойного древостоя) выше, чем с поверхности почвы в еловом древостое.

Получили, что интенсивность эмиссии CO_2 с поверхности почвы на вырубке мелколиственного перестойного древостоя значительно выше, чем под пологом идентична вырубленному древостою (55%). Однако, в зависимости от состава растительности, которая произрастает на вырубке, эмиссия CO_2 сильно различается. Так на вырубке под подростом осины эмиссия выше, чем под пологом леса на 55%, а на вырубке под пологом камыша наоборот, эмиссия была даже ниже, чем под полом леса - на 30-6% в зависимости от температуры воздуха. Такие данные наводят на вывод, что в случае, если вырубка зарастает камышом, то на этом месте в данном регионе лес может не возобновиться.

Таким образом, эмиссия CO_2 с поверхности почвы в значительной степени зависит от вида растительности, которая произрастает на этой почве.

ЛИТЕРАТУРА

1. Молчанов А.Г. Баланс CO2 в экосистемах сосняков и дубрав в разных лесорастительных зонах. Тула: Гриф и К, 2007. 284 с.
2. Молчанов А. Г. Зависимость дыхания стволов дуба разных классов роста от условий окружающей среды // Лесоведение. 2020. № 4. С. 367-376.
3. Татаринов Ф.А., Молчанов А.Г., Ольчев А.В. Оценка и минимизация ошибок при измерении дых почв по открытой схеме // Известия Самарского научного центра РАН. 2009. Т. 11. № 1(7). С. 1592–1595.
4. Молчанов А. Г., Курбатова Ю. А., Ольчев А. В. Влияние сплошной вырубки леса на эмиссию CO_2 с поверхности почвы // Известия РАН. Серия биологическая. 2017. № 2. С. 190–196.

5. Молчанов А.Г., Татаринов Ф.А. Эмиссия co_2 с поверхности почвы и стволов в нельниках и сосняке // Вклад заповедной системы в сохранение биоразнообразия и устойчивого развития: Материалы Всесоюзной научной конференции (с международным участием. Тверь: Твер. гос. ун-т. 2017. С. 374–380.
6. Edwards N.T., Sollins P. Continuous measurement of carbon dioxide evolution from partitioned forest floor components // Ecology. 1973. V. 54. № 2. P. 406–412.

GAS EXCHANGE OF CO_2 FROM THE SOIL SURFACE ON THE FELLING OF DIFFERENT VEGETATION

A. G. MOLCHANOV

Key words: *emission, soil, vegetation, tree stand*

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ЭМИССИЮ CO_2 С ПОВЕРХНОСТИ ПОЧВ ЕЛОВЫХ И СОСНОВЫХ ЛЕСОВ В УСЛОВИЯХ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ

Е.В. МОШКИНА А.В. МАМАЙ

Институт леса Карельского научного центра Российской академии наук,
ФИЦ "Карельский научный центр РАН", г. Петрозаводск

Ключевые слова: *Q10, ельники, подзолы иллювиально-железистые, сосняки, элювиально-метаморфические глееватые почвы, эмиссия CO_2*

Изменение климата влияет на все составляющие баланса углерода и может в значительной степени корректировать стоковую функцию экосистем (Peters et al, 2011; Курганова и др., 2011, 2016), что делает необходимым изучение цикла углерода в различных лесных экосистемах.

Исследование связи потока CO_2 с поверхности почвы и температуры окружающей среды проводили на территории заповедника «Кивач» (N62°17'19.5" E34°01'05.9"). Пробные площади были расположены в сосняках, сформированных на подзолах иллювиально-железистых и в ельниках, приуроченных к элювиально-метаморфическим глееватым почвам. Эмиссию CO_2 (R) с поверхности почвы измеряли камерным методом в сезонной динамике (2 -3 раза в месяц в 3-5 кратной повторности) с мая по ноябрь 2018-2020 г. Также фиксировали температуру почвы и воздуха в припочвенном слое.

Методом дисперсионного анализа установили пространственную неоднородность процесса образования CO_2 и значимость полученных данных. Выявлены различия эмиссии CO_2 с поверхности почв в зависимости от типа почв, вида растительности и зоны фитогенного поля дерева. Температура и влажность почвы являются наиболее значимыми абиотическими факторами, определяющими эмиссию CO_2 из почв.

Интенсивность эмиссии CO_2 из почв исследованных лесных экосистем имеет выраженную сезонную динамику с минимальными значениями в мае и октябре, максимальными – в июле и августе (в период наибольшей активности почвенной микробиоты и хорошего прогрева верхней части профиля почвы). Сезонная вариабельность интенсивности почвенного дыхания в хвойных лесах составила 25-43%, а средние измеренные значения R=2.2±0.16 г С/м2/сут. Потери углерода в виде CO_2 с поверхности подзола иллювиально-железистого под сосновые насаждения за вегетационный период (с мая по сентябрь) составляют 5.5±0.8 т С/га, из элювиально-метаморфической глееватой почвы ельников 3.83±0.1 т С/га. Эти величины хорошо согласуются с данными, полученными для лесных экосистем, расположенных в сходных климатических условиях (Kurganova, Kudeyarov, 1998; Pajary, 1995; Осипов, 2015). Мы также оценивали количество CO_2, поступающего с поверхности почвы в зимний период, которое, по нашим данным составляло 15-24% годовой эмиссии CO2, что согласуется с результатами работ других исследователей (Alm et al., 1999). Зимними потоками нельзя пренебрегать, так как недоучет потоков CO_2 в холодный период может привести к существенным искажениям в оценке величины годового баланса углерода в экосистемах (Kurganova et al., 2011).

Изменение величины почвенного дыхания в течение года тесно связано с температурой приземного слоя воздуха и более существенно – с температурой почвы на глубине 10 см. Эти зависимости хорошо аппроксимировались экспоненциальным уравнением 1-го порядка: R=expkT. Значением температуры почвы объяснялось 41-56% изменчивости интенсивности почвенного дыхания почв сосновых лесов в течение вегетационного периода.

В ельниках колебания интенсивности почвенного дыхания на 62-65% определялись фактором температуры.

Полученные результаты важны для математического моделирования цикла углерода в наземных экосистемах, которое невозможно без точных данных сезонной динамики дыхания почв, а также без учета влияния биотических и биотических факторов на значения R.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ №19-04-01282 "Роль крупных древесных остатков в круговороте биогенных элементов в старовозрастных таежных лесах" и в рамках государственного задания КарНЦ РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Мякшина Т.Н., Сапронов Д.В., Савин И.Ю., Шорохова Е.В. Баланс углерода в лесных экосистемах южного Подмосковья в условиях усиления засушливости климата // Лесоведение. 2016. № 5. С. 332–345.
2. Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Петров А.С., Мякшина Т.Н., Сапронов Д.В., Аблеева В.А., Кудеяров В.Н. Влияние наблюдаемых климатических изменений и экстремальных погодных явлений на эмиссионную составляющую углеродного цикла в различных экосистемах южно-таежной зон // Доклады РАН. 2011. Т. 441. № 6. С. 845–849.
3. Осипов А. Ф. Эмиссия диоксида углерода с поверхности почвы спелого сосняка черничного в средней тайге республики Коми // Лесоведение. 2015. № 5. С. 356–366.
4. Alm J., Saarnio S., Nykanen H., Silvova J., Martikainen P. Winter CO_2 , CH_4 and N2 O fluxes on some natural and drained boreal peatlands // Biogeochemistry. 1999. V. 44. P. 163–186.
5. Kurganova I.N., Kudeyarov V.N. The assessment of carbon dioxide flux from Russian south taiga soils // Eurasian Soil Science. 1998. V. 31. P. 954–965.
6. Pajary B. Soil respiration in a poor upland site of Scots pine stand subject to elevated temperatures and atmospheric carbon concentration // Plant and Soil. 1995. V.168–169. P. 563–570.
7. Peters G.P., Minx J.C., Weber C.L., Edenhofer O. Growth in emission transfers via international trade from 1990 to 2008 // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2011. V. 108 (21). P. 8903–8908.

THE EFFECT OF TEMPERATURE ON THE CO2 EMISSION FROM SOILS OF SPRUCE AND PINE STAND IN THE MIDDLE TAIGA

E.V. MOSHKINA

Key words: *pine, spruce, forests soils, emissions CO_2, Q10*

БИОРАЗНООБРАЗИЕ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА НЕКОТОРЫХ ИСКУССТВЕННЫХ ЛЕСОНАСАЖДЕНИЙ Г. РОСТОВ-НА-ДОНУ

А.А. НАЛИВАЙЧЕНКО, П.Н. СКРИПНИКОВ, С.Н. ГОРБОВ, А.Ю. МАТЕЦКАЯ

Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону

Ключевые слова: *искусственные лесонасаждения, обилие растений, растительный покров, чернозем, эколого-ценотические группы*

Искусственные лесонасаждения, в особенности старовозрастные, являются ценным объектом для изучения процессов долгосрочного антропогенного влияния на степные экосистемы, а данные о разнообразии их биоты должны учитываться при оценке состояния среды и разработке долговременных прогнозов развития биоразнообразия региона (Засоба, 2009). Во второй половине XX века в г. Ростов-на-Дону формировалась отличительная урбанизированная среда, в которой лесные ресурсы выполняют в первую очередь средообразующую и социальную функции (Ревин и др., 2012; Грязькин и др., 2017), к тому же условия произрастания растений в черте города являются достаточно разнообразными (Горчаковский, 1999).

Эволюционирование, даже относительно краткосрочное, климаксных степных почв под древесной растительностью приводит к изменению их физико-химических свойств. Показано, что интразональная древесная растительность приводит к наибольшему накоплению органического вещества в поверхностном горизонте Ad черноземов миграционно-сегрегационных, а изменение условий увлажнения вызывает вымывание карбонатов преобладающими нисходящими токами влаги (Горбов, 2018).

В 2020–2021 гг. были проведены полевые исследования древесно-кустарниковой и травянистой растительности на территориях ООПТ «Щепкинский лес» и городской рощи «Темерницкая роща». Заложены пробные площадки мониторинга, размер которых составляет 100 м^2. Оценка обилия видов проведена по шкале Браун-Бланке (1992). Эколого-ценотические группы насаждений рассматривались как по флористическим спискам сообществ, так и через их обилие в фитоценозе (Гусев и др., 2002). Для идентификации видов растений использован региональный определитель флоры (Зозулина, Федяева, 1984, 1985).

Почвенный покров территории исследуемых участков представлен черноземами миграционно-сегрегационными тяжелосуглинистыми мощными среднегумусными на лессовидном суглинке. Максимальное видовое разнообразие растительности установлено на площадках в роще. Здесь доминируют представители родов *Fabaceae* и *Aceraceae* (*Robinia pseudoacacia L.*, *Gleditsia triacanthos L.*, *Acer negundo L.*, *Amorpha fruticosa L.*, *A. tataricum L.* и др.). На территории ООПТ значительную часть растительности составляет род *Acer*. Одна из исследуемых площадок – посадка представителей вида *Corylus avellana L.*, где деревья присутствуют в качестве примеси.

На всех площадках ведущую ценотическую роль играют адвентивные, культигенные и синантропные виды. Кроме этого, на территории «Темерницкой рощи» доминирует сорная растительность. В травянистом покрове важное участие в сложении напочвенного покрова принимают представители сорно-кустарниковой, сорно-луговой и лесо-луговой растительности с обилием 3-5 (*Glechoma hederacea L.*, *Galium aparine L.*, *Elytrigia repens (L.) Desv. ex Nevsk* и др.).

Флора изученных участков отличается высокой долей участия тех видов, которые изначально не были высажены, а распространились самосевом или зоохорно. Несмотря на то, что территория рощи испытывает на себе антропогенный прессинг, ее травянистый покров

более разнообразен; наблюдается возобновление поврежденной растительности. В ООПТ на данный момент отмечено доминирование древесных видов растений.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20–34–90085.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горбов С.Н. Генезис, классификация и экологическая роль городских почв Европейской части Юга России (на примере Ростовской агломерации): Дис. … доктора. биол. наук. (спец. 03.02.13). Москва, 2018. 448 с.
2. Горчаковский П.Л. Антропогенная трансформация и восстановление продуктивности луговых фитоценозов. Екатеринбург: Изд-во «Екатеринбург», 1999. 156 с.
3. Грязькин А.В., Кочкин А.А., Петрик В.В. Динамика состава растительности нижних ярусов в парковых фитоценозах // Лесной журнал. 2017. № 6. С. 46–55.
4. Гусев М.В., Мелехова О.П. Романова Э.П. Сохранение и восстановление биоразнообразия: Серия учебных пособий «Сохранение биоразнообразия». М: Изд-во Научного и учебно-методического центра, 2002. 286 с.
5. Засоба В.В. Формирование основных компонентов биоты в искусственных лесных массивах Ростовской области // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2009. № 5. С. 88–93.
6. Зозулина Г.М., Федяева В.В. Флора Нижнего Дона (определитель). / Под ред. Г.М. Зозулина, В.В. Федяевой. Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ, 1984. Ч.1. 280 с.; 1985. Ч. 2. 240 с.
7. Ревин А.И., Смольянов А.Н., Водолажский А.Н. Рост и продуктивность культур сосны различной густоты посадки в Перкинском лесничестве Тамбовской области // Лесотехнический журнал. 2012. № 4. С. 57–67.

BIODIVERSITY OF VEGETATION COVER OF SOME ARTIFICIAL FORESTATIONS IN ROSTOV-ON-DON

A.A. NALYVAICHENKO, P.N. SKRIPNIKOV, S.N. GORBOV, A.Y. MATETSKAYA

Key words: *artificial forestations, ecological-cenotic groups, abundance of plants, vegetation cover, chernozem*

ЛЕСНЫЕ ПОЧВЫ ЮЖНОГО ВЬЕТНАМА

В.Т. НГУЕН[1], А.А. ОКОЛЕЛОВА[2], Е.Э. НЕФЕДЬЕВА[2], Т.В.А. ДИНЬ[2]

[1]Южное отделение Российско-Вьетнамского тропического центра, г. Ханой
[2]Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград

Ключевые слова: *Вьетнам, заповедник, лесные почвы, органический азот, органический углерод, pH*

Биосферный заповедник Донг Най создан в 2011 году, включен в список Всемирных биосферных заповедников ЮНЕСКО. Его обширная территория включает биогеоценозы разного типа, испытавшие и испытывающие антропогенное воздействие разной интенсивности (включая обработку пестицидами во время Второй Индокитайской войны, лесозаготовки). На территории Заповедника представлены малонарушенные тропические леса, лесные участки разной степени деградации, выведенные из интенсивного хозяйственного оборота сельскохозяйственные земли. Это практически единственный уцелевший фрагмент естественного тропического муссонного леса Южного Вьетнама. Нами заложено 11 модельных площадок в парке Кат Тьен и в заповеднике Винь Кыу (Нгуен и др., 2017). Они выбраны на почвах различного генезиса, сформированных на базальтах, сланцах и аллювии и учитывают все разнообразие растительного покрова: вечнозеленые широколиственные леса (Ф, А, ПД1 и ДГ), широколиственные листопадные леса (ЛВ, ЛН, ЛЛ, ПЛ), смешанные древесно-бамбуковые леса (Б2), искусственные лесные посадки (ПД2), растительность водно-болотных угодий (Б1).

Органический углерод. В профиле почв Заповедника содержание органического углерода колеблется в широких пределах. Доля Сорг в верхних горизонтах исследуемых нами почв варьирует от 1,71% (буро-желтая аллювиальная, ПД2) до 5,34% (бурая ферраллитная, ЛЛ). Выявлено резкое снижение органического углерода с глубиной. В почвах, сформированных на базальтах, концентрация органического углерода в верхнем горизонте изменяется в интервале от 4,36 (ЛВ) до 5,34% (ЛЛ), на сланцах – от 1,91 (ДГ) до 5,16% (ПЛ), на аллювии – в диапазоне 1,71 (ПД2) – 3,78% (Б2). Коричневые почвы, сформированные под одинаковой растительностью (*Lagerstroemia calyculata* и *Tetrameles nudiflora*), были расположены на разных элементах рельефа (верхняя и нижняя). Аккумулятивный элемент рельефа (площадка ЛН) часто заливает во влажный сезон (с мая по сентябрь). Почвы здесь более влажные, выше темпы преобразования органических остатков, и, как следствие, мощность гумусового горизонта больше почти в 4 раза, чем на трансэлювиальной позиции (площадка ЛВ): соответственно 23 и 6 см. Концентрация Сорг в гор. А и В составляет соответственно 5,16 и 1,50% (ЛН) и 4,36 и 2,33% (ЛВ). В бурых ферраллитных почвах на базальтах (площадки А и ЛЛ) концентрация Сорг варьирует от 4,46 до 5,34% в верхних горизонтах, до 2,35 и 2,20 – в иллювиальном горизонте. В почвах на сланцах наибольшее содержание Сорг выявлено в красной ферраллитной почве (ПЛ), равное 5,16%, наименьшее (1,91) – в желтой почве (ДГ). В красной ферраллитной почве отмечено резкое снижение органического углерода с глубиной, с 5,16 до 1,23%, в остальных почвах на сланцах содержание органического углерода убывает вниз по профилю менее заметно: в красно-желтой с 2,20 до 1,31%, в бурой – с 1,93 до 1,14%; в желтой – с 1,91 до 1,33 %. В буро-желтых аллювиальных почвах (Б2 и ПД2) концентрация органического углерода колеблется в интервалах 3,78–1,71 % соответственно в гумусовом слое и 2,79–1,17% в нижней части профиля. Низкое содержание Сорг в почвах на аллювии может быть свидетельством антропогенного влияния (Нгуен и др., 2017).

Органический азот. Максимальное содержание азота (0,48%) в красной ферраллитной почве (ПЛ), минимальное – в профиле ферраллитных почв: бурой (Б1), желтой (ДГ) и буро-желтой аллювиальной (ПД2) – по 0,09%. В почвах, сформированных на базальтах, содержание азота в профиле почвы изменяется в интервале 0,14 (ЛН) – 0,44% (ЛЛ), а в почвах, сформированных на сланцах, диапазон составляет 0,09 (ДГ, Б1) – 0,48% (ПЛ), на аллювии от 0,09 (ПД2) до 0,35% (Б2).

Величина pH. Для исследуемых почв характерно изменение pH в пределах от 4,84 до 7,0. В коричневой почве (Ф) на базальтах самая высокая величина pH в профиле: 6,03–7,00. В коричневых почвах (ЛВ и ЛН) pH гумусового горизонта изменяется от 5,09 до 5,97, возрастая в профиле до 5,76 и 6,17 соответственно. В бурых ферраллитных почвах pH варьирует в более узких пределах – от 5,56 (ЛЛ) до 5,60 (А), в нижней части профиля почв соответственно 5,71 и 5,79. В желтой ферраллитной почве (ДГ) величина pH изменяется в профиле от 5,01 (гор. А) до 5,64. В профиле красной ферраллитной почвы (ПЛ) его значения составляют 5,71–5,22 и 4,84–5,10 – в профиле красно-желтой ферраллитной почвы (ПД1). В буро-желтых аллювиальных почвах значения pH колеблются от 4,84 (ПД2) до 5,21 (Б2).

Почвы широколиственных лесов, сформированные на базальтах, наиболее обогащены биогенными и химическими элементами, а почвы на аллювии ими обеднены. Промежуточное положение занимают почвы, сформированные на сланцах. Установлена обратная зависимость между общей численностью панцирных клещей и содержанием органического углерода в верхнем горизонте почвы (Нгуен и др., 2017). Коричневые почвы, сформированные под одинаковой растительностью (с преобладанием *Lagerstroemia calyculata* и *Tetrameles nudiflora*), но расположенные на разных элементах рельефа, отличаются по свойствам. Более влажные почвы в аккумулятивном элементе ландшафта, характеризуются большим разнообразием животного населения, мощностью гумусового горизонта, превышающим почти в 4 раза, мощность гумусового горизонта в почвах на трансэлювиальной позиции. Бурые ферраллитные почвы под афзелией (А) содержат меньше органического углерода и азота, чем бурые почвы под полидоминантным лесом (ЛЛ). В почвах локальное превышение ПДК выявлено для цинка и мышьяка. Концентрация никеля превышает ПДК, установленное в РФ (85 мг/кг), в почвах, сформированных на базальтах. Наиболее обогащены свинцом и мышьяком почвы на сланцах (19,1–22,9 мг/кг), цинком и медью – коричневые почвы (около 200 и 50 мг/кг, соответственно), никелем – бурая ферраллитная почва (251 мг/кг). Обеднена свинцом красная ферраллитная почва (2,1 мг/кг), цинком – буро-желтая аллювиальная почва (16,3 мг/кг). Концентрация меди и никеля наименьшая в почвах, сформированных на сланцах и аллювии.

Благодарим сотрудников южного отделения Русско-Вьетнамского Тропического центра за возможность исследовать почвы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нгуен В.Т., Околелова А.А. Биоразнообразие и свойства почв биосферного заповедника Донг Най Южного Вьетнама. Волгоград: изд-во ВолГТУ, 2017. 160с.

FOREST SOIL OF SOUTH VIETNAM

V.T. NGUEN, A.A. OKOLELOVA, E.E. NEFEDYEVA, B.A.T. DINH

Key words: *forest soil, nature reserve, Vietnam, organic carbon, organic nitrogen, pH*

ТРАНСФОРМАЦИЯ ПЕСЧАНЫХ АЛЬФЕГУМУСОВЫХ ПОЧВ ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА

Н.П. НЕВЕДРОВ, М.Ю. ФОМИНА, Г.И. ПОПОВА, Е.А. БАЙДАК, Е.А. КУЗНЕЦОВА

Курский государственный университет, г. Курск

Ключевые слова: *дерново-подзолы песчаные, климатические изменения, микробиологическая активность, подзолы песчаные, эмиссия CO_2*

Подзолы песчаные – азональный тип почв, сформированных на легких мономинеральных и полиминеральных песчаных отложениях, как правило, приурочены к надпойменным террасам рек и выполняют ряд важнейших экологических функций: средообразующая, лесорастительная, углерододепонирующая, протекторная и др. (Неведров и др., 2021). Несмотря на относительно однотипные условия формирования почв (Гаель, Смирнова, 1999), почвенные разности альфегумусовых почв выделяются внутри природных зон, что связано как с влиянием климатического фактора, так и факторов рельефа, биоты, материнской породы и времени (Яшин и др., 2011; Sauer et al., 2008). Динамика свойств почв и почвенных процессов в подзолах песчаных стремительнее, чем в зональных типах почв (Ильинцев и др., 2019; Неведров и др., 2021). Это определяет актуальность исследования этих почв для решения вопросов их рационального использования и дифференциации приемов хозяйствования на разных стадиях их освоения. На фоне глобальных климатических изменений трансформации почвенного покрова приобретают разнообразные скорости и тренды. Целью настоящего исследования являлось определение влияние фактора климата на протекание почвенных процессов в подзолах песчаных в условиях лесостепи Среднерусской провинции.

В ходе настоящего исследования рассматривались свойства почв и особенности протекания почвенных процессов в сходных лесных экосистемах лесостепи, различающихся по географическому положению. В качестве ключевых объектов были выбраны сосновые лесонасаждения в Железногорском районе Курской области (северный участок) и в Новооскольском районе Белгородской области (южный участок). Расстояние между участками в направлении с севера-запада на юго-восток составляло 230 км. Исследуемые объекты существенно отличались по климатическим показателям: годовая норма выпадающих осадков и среднегодовая температура воздуха. В целом, южный участок характеризовался более теплым и засушливым климатом относительно северного участка. Исследуемые участки располагались в надпойменных террасах рек Свапа и Оскол. Надпойменные террасы сложены флювиогляциальными и древнеаллювиальными песками. Почвенный покров северного участка преимущественно представлен подзолами иллювиально-железистыми псевдофибровыми песчаными, южного участка – дерново-подзолом иллювиально-железистым песчаным. В ходе исследования применялись традиционные (метод почвенной сьемки, профильный метод, микробиологические методы, методы математической статистики и др.) и новейшие методы (прямые измерения почвенных потоков CO_2 камерным методом) исследования.

Установлено, что почвообразовательные процессы в азональных альфегумусовых песчаных почвах рефлексивны к вариациям климатических параметров лесостепной зоны. В более теплых и засушливых условиях лесостепи (южная часть) формируются дерново-подзолы песчаные, в более холодных и увлажненных условиях лесостепи (северная часть) – подзолы песчаные. Почвообразовательные процессы в легких альфегумусовых почвах сосновых

лесонасаждений лесостепной зоны изменяются в направлении с северо-запада на юго-восток, что в большей степени обусловлено сменой климатических характеристик (сочетание тепла и влаги). Такие изменения прослеживаются уже в масштабе 200–250 км. В южной части лесостепной зоны в альфегумусовых почвах происходило активное развитие дернового процесса, сопровождающегося аккумуляцией органического вещества, элементов минерального питания растений, повышением микробной биомассы почвы в верхней части профиля и формированием серогумусовых горизонтов (AY). Микробиологическая активность дерново-подзолов южной части лесостепи Среднерусской провинции была в 12,7 раза выше для бактерий, 10,5 раза – для микромицетов и 4,5 раза – для актиномицетов. Скорость потоков CO_2 из альфегумусовых почв значимо возрастала в летнее время. В северной части лесостепной зоны скорость эмиссии из подзолов песчаных в летнее время достигала 9,1 г CO_2 м^2/сутки, в южной части из дерново-подзолов – до 12,5 г CO_2 м^2/сутки. При дальнейшей аридизации климата в северной части лесостепной зоны возможно развитие почвенной сукцессии в ряду «подзол-песчаный – дерново-подзол песчаный».

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых - кандидатов наук (проект - МК-416.2021.1.4).

ЛИТЕРАТУРА

1. Гаель А.Г., Смирнова Л.Ф. Пески и песчаные почвы. М.: ГЕОС, 1999. 252 с.
2. Ильинцев А.С., Богданов А.П., Быков Ю.С. Динамика физических свойств подзолистой почвы на вырубках при естественном зарастании // Лесной журнал. 2019. № 5. С. 70–82.
3. Неведров Н.П., Фомина М.Ю., Проценко Е.П., Протасова М.В., Балабина Н.А., Сапронова С.Г., Смицкая Г.И. Почвенные сукцессии подзолов и дерново-подзолов песчаных лесостепи при смене лесообразующих пород // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. 2021. № 2. DOI: https://doi.org/10.51419/20212213.
4. Яшин И.М., Кузнецов П.В., Петухова А.А. Экогеохимическая оценка почв и лесопарковых фаций Петрозаводска // Известия ТСХА. 2011. Вып. 4. С. 30–43.
5. Sauer D., Schülli-Maurer Isabelle, Sperstad Ragnhild, Sørensen R., Stahr K. Podzol development with time in sandy beach deposits in southern Norway // Journal of Plant Nutrition and Soil Science. 2008. V. 171. P. 483–497.

TRANSFORMATION OF SANDY SOILS OF THE FOREST STEPPE ZONE UNDER CLIMATE CHANGE

N.P. NEVEDROV, M.YU. FOMINA, G.I. POPOVA, E.A. BAIDAK, E.A. KUZNETSOVA

Key words: *sandy podzols, sandy sod-podzols, CO_2 emission, microbiological activity, climatic changes.*

ЭФФЕКТ СПЛОШНОЙ РУБКИ СРЕДНЕТАЕЖНОГО СОСНЯКА ЧЕРНИЧНОГО НА ЭМИССИЮ CO_2 С ПОВЕРХНОСТИ ПОЧВЫ

А.Ф. ОСИПОВ

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар

Ключевые слова: *дыхание почвы, сосняк, сплошная рубка*

Сплошные рубки, являющиеся основным видом хозяйственной деятельности в лесах бореального пояса, оказывают значительное влияние на их углеродный баланс и могут изменять роль экосистемы от поглотителя углерода к источнику (Pukkala, 2018). Показано, что после нарушения значительная часть потерь углерода в экосистеме связана со сдвигами в динамике почвенного дыхания (Rs) (Čater et al., 2021), которое вызвано уменьшением запасов органического вещества почвы (Дымов, 2017), изменением количественного и качественного состава растительного опада (Mayer et al., 2020) и разложением мертвых корней (Kohout et al., 2018). На территории Республики Коми располагаются крупные массивы лесов, которые охвачены активной хозяйственной деятельностью с ежегодной площадью рубок порядка 40–60 тыс. га. Однако, исследования, характеризующие их влияние на компоненты цикла углерода лесных экосистем, единичны (Осипов и др., 2019), что обуславливает актуальность исследований по изучению роли промышленных рубок на пулы и потоки углерода в лесных сообществах. Цель данного исследования: охарактеризовать влияние сплошной рубки на эмиссию CO_2 с поверхности почвы среднетаежного сосняка черничного.

Работа выполнена в течение вегетационных периодов 2018–2019 гг. в сосняке черничном и на вырубке сосняка черничного на торфянисто-подзолисто-глееватой иллювиально-железистой почве. Сплошная рубка проведена в 2015 г. с использованием лесозаготовительного комплекса. Эмиссию CO_2 определяли инфракрасным газоанализатором LICOR 8100 с почвенной камерой 20 см один-два раза в месяц на стационарных основаниях. Непрерывное измерение температуры почвы выполнено датчиками HOBO. Для расчета выноса углерода в виде CO_2 использовали уравнение Вант-Гоффа. Нормальность распределения данных и остатков линейных моделей проверялась с помощью критерия Шапиро-Уилка. Мы использовали t-критерий (pt) для парных сравнений в случае нормального распределения и непараметрический критерий Вилкоксона–Манна–Уитни (pw) в случае ненормального распределения данных. Тест Краскела-Уоллиса (pkw) был проведен для оценки сезонной динамики Rs из-за ненормального распределения исходных данных. Были использованы программные пакеты MicrosoftExcel 2010 и R 4.03. Статистический анализ выполнен при 95 % уровне значимости.

Статистически достоверная (p=0.0000) тесная положительная зависимость Rs от температуры почвы отмечена на глубине 10 см в наблюдаемые периоды на обоих участках. Более высокая взаимосвязь этих показателей была на сплошной вырубке (R^2=0.70–0.72), тогда как коэффициент детерминации в естественно развивающемся насаждении сосняка черничного составлял 0.44–0.60. Температурный коэффициент Q10 в исследуемые годы различался. В 2019 году по сравнению с 2018 годом он был выше в 2.8 раза в сосняке и в 1.8 раза на вырубке сосняка. В 2018 г. коэффициент Q10 в фоновом насаждении и на вырубке был сопоставим, однако отличался в 1.9 раза в 2019 г. Влияние влажности почвы на Rs неоднозначное. На контрольном участке мы обнаружили значимую отрицательную корреляцию (R^2=0.29–0.30, p=0.0000) между этими показателями, тогда как на вырубке связь была слабой в 2018 году (R^2=0.06, p=0.001) и отсутствовала в 2019 году (p=0.797). Парное

влияние температуры и влажности почвы на Rs было выше на сплошной вырубке (R^2=0.61–0.78), чем в сосняке.

Установлено, что эмиссия CO_2 характеризовалась увеличением с мая по июль-август и уменьшением к октябрю на обоих объектах в периоды наблюдений (pkw=0.0000 во всех случаях). Относительно высокие показатели Rs наблюдались в июле и августе. Средняя интенсивность Rs в сосняке составляла 3.01–3.70 гСм^2/сут. в июле и 2.20–3.28 гСм^2/сут. в августе. На вырубке среднемесячные Rs составили 2.26 и 1.54–2.26 гСм^2/сут. в июле и августе, соответственно, что в 1.3–1.6 раза ниже, чем в сосняке черничном (pw<0.05).

Рассчитано, что вынос углерода с эмиссией CO_2 с поверхности сосняка в бесснежный (май–октябрь) период составил 410±17 гСм^2 в 2018 г., а на вырубке 242±12 гСм^2, что в 1.12–1.15 раза выше, чем в 2019 г. (pt=0.0232 и pt=0.0244 соответственно). Более половины потерь углерода от Rs на обоих участках отмечено в летние месяцы, а вклад вегетационного периода составил 87–91% от общего количества Rs в бесснежный период. Однако достоверных различий между выбросом углерода в вегетационный и бесснежный период во время наблюдений на сплошной вырубке (pt> 0.05) и в 2019 г. на контрольном участке (pt=0.092) не выявлено. На сплошной вырубке мы наблюдали уменьшение выноса углерода с Rs примерно на 40% (pt=0.0000) во все исследованные периоды. Выявлено, что эмиссия C-CO_2 с поверхности почвы контрольного участка летом была сопоставима с потерями углерода в виде CO_2 в бесснежный период и вегетационный период на вырубке (pt> 0.05).

В среднетаежных сосняках сплошные рубки оказывают значимое влияние на почвенное дыхание. На вырубках вследствие повышения влажности почвы влияние температуры почвы на поток CO_2 поверхности с ее поверхности усиливается, а роль влажности почвы в этом процессе снижается или становится незначительной. Существенное влияние сплошной рубки сосняка черничного на Rs выражалось в снижении скорости потока CO_2 как в отдельные месяцы (в 1.3–1.6 раза), так и на общий вынос углерода с поверхности почвы (в 1.6–1.7 раза). Мы полагаем, что на севере бореальной зоны снижение Rs после рубки сосняка, вызвано прекращением дыхания корней деревьев.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института биологии Коми НЦ УрО РАН по теме НИР «Пространственно-временная динамика структуры и продуктивности фитоценозов лесных и болотных экосистем на европейском Северо-Востоке России» (номер государственного учета НИОКТР АААА-А17-117122090014-8).

ЛИТЕРАТУРА

1. Дымов А.А. Влияние сплошных рубок в бореальных лесах на почвы (обзор) // Почвоведение. 2017. № 7. С. 787–798.
2. Осипов А.Ф., Тужилкина В.В., Дымов А.А., Бобкова К.С. Запасы фитомассы и органического углерода среднетаежных ельников при восстановлении после сплошнолесосечной рубки // Известия РАН. Серия биологическая. 2019. № 2. С. 215–224.
3. Čater M., Darenova E., Simončič P. Harvesting intensity and tree species an effect soil respiration in uneven-aged Dinaric forest stands // Forest Ecology and Management. 2021. V. 480. Article 118638. DOI: 10.1016/j.foreco.2020.118638
4. Kohout P., Charvátová M., Štursová M., Mašínová T., Tomšovský M., Baldrian P. Clearcutting alters decomposition processes and initiates complex restructuring of fungal communities in soil and tree roots // ISME Journal. 2018. V. 12. P. 692–703.
5. Mayer M., Prescott C.E., Abaker W.E.A., Augusto L., Cécillon L., Ferreira G.W.D., James J., Jandl R., Katzensteiner K., Laclau J.-P., Laganière J., Nouvellon Y., Paré D., Stanturf J.A., Vanguelova E.I., Vesterdal L.. Tamm Review: Influence of forest management activities on soil

organic carbon stocks: A knowledge synthesis. Forest Ecology and Management. 2020. V. 466. Article 118127. DOI:10.1016/j.foreco.2020.118127
6. Pukkala T. Carbon forestry is surprising // Forest Ecosystems. 2018. V. 5. Article No. 11. DOI:10.1186/s40663-018-0131-5

EFFECT OF CLEAR-CUTTING ON CO2 EMISSION FROM SOIL SURFACE OF SCOTS PINE FOREST IN MIDDLE TAIGA CONDITIONS

A.F. OSIPOV

Key words: *clear-cutting, soil respiration, Scots pine forest*

ПАЛЕОПОЧВЕННОЕ ИЗУЧЕНИЕ МНОГОСЛОЙНЫХ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАМЯТНИКОВ НА СУПЕСЯХ СЕВЕРНОЙ ТАЙГИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Л.Н. ПЛЕХАНОВА[1], О.С. ТУПАХИНА[2], Р.А. КОЛЕСНИКОВ[2]

[1]Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения Российской академии наук – обособленное подразделение ФИЦ ПНЦБИ РАН, г. Пущино
[2]Научный центр изучения Арктики, г. Салехард

Ключевые слова: *археологические памятники, Западная Сибирь, палеопочвы, подзолы, поселения, энеолит, эпоха бронзы*

Антропогенный фактор во все эпохи вносил значительные коррективы в развитие почв и ландшафтов всех природных зон. Не исключение и почвы подзоны северной тайги Западной Сибири, изученные нами на археологическом памятнике Ямгорт. Памятник находится на территории Ямало-Ненецкого автономного округа, на высокой песчаной террасе реки Сыня с вытянутыми вдоль русла гривами. Археологические датировки по найденным предметам позволяют отнести нижние горизонты памятника к эпохе энеолита (ясунской культуры), выделить основной горизонт эксплуатации памятника в эпоху поздней бронзы (хэяхинской культуры). Обе культурные группы известны на обширной территории в ЯНАО от южной части полуострова Ямал на севере до бассейна реки Сыня на юге. Для этой же территории характерны поселения эпохи раннего средневековья нижнеобской культурной общности. По почвам удалось зафиксировать относительно недавние изменения в досыпках насыпей в раннем железном веке.

Комплексное изучение археологических объектов с привлечением методов естественных дисциплин (Борисов и др., 2016; Зданович и др., 2001) заметно дополняет существующие представления как о духовной и хозяйственной жизни древних народов, так и о роли природной среды (Каширская и др., 2017; Плеханова и др., 2020) в сложении того или иного хозяйственно-культурного типа.

Особенностью отечественных исследований является значительное внимание к вопросам реконструкции погребального обряда древних народов (изучение курганов), тогда как за рубежом основное внимание уделяется изучению поселений. Поселенческие памятники исследованы мало, а полученные в ходе их изучения материалы могут быть использованы для решения общих вопросов генезиса почв (Каширская и др., 2018; Плеханова, Ткачев, 2013; Golyeva et al., 2018; Plekhanova, Tupakhina, 2021; Zhuravleva et al., 2011). Вместе с тем, только поселенческие памятники могут быть использованы при рассмотрении распределения артефактов в почвенной толще, интеграции культурного слоя в природную среду, роста природно-антропогенных наносов, и, в конечном счете, при индикации антропогенных воздействий на окружающую среду (Плеханова, Ткачев, 2013; Golyeva et al., 2018; Prikhodko et al., 2006; Zhuravleva et al., 2011).

Рост почвенно-археологических наносов для всех природных зон, рассматривается нами как совокупность почвенных горизонтов и почво-грунтов культурного слоя, является следствием работы процессов осадконакопления/почвообразования. В периоды, когда поселение заброшено, мы полагаем преобладание процессов осадконакопления и рост наноса вверх, в период эксплуатации человеком поселения мы предполагаем преобладание почвообразования и формирование двух контрастных горизонтов элювиирования-иллювиирования или выноса-привноса гумуса и железа, что отражается в яркой морфологической картине наличия рядом контрастных белесого/ржавого горизонтов в сочетании с максимумами фосфатов по профилю. Именно фосфатные максимумы

подтверждают эксплуатацию поверхностей в древности, позволяя наши палеопочвенные построения на данном объекте.

На лесопокрытых территориях археологическое почвоведение будет иметь свои особенности. В первую очередь это следы пожаров, в частности, древних, отраженных в степи в виде прокаленных горизонтов, хорошо читаемых археологической стратиграфией. Также фиксируемые следы пожаров могут иметь отношение к последнему периоду – нескольким сотням лет, отражаясь в почвах насыпей, и это направление сейчас оформляется как педоантракология, для обычной лесной почвы с возрастом в десятки лет, где одна из ведущих ролей сейчас принадлежит д.б.н. М.В. Бобровскому. В целом, насыпи характерны для курганов, и на границе степной-лесостепной зон курганы распространены не сильно, но тем не менее, встречаются. Также объектами применения нашего опыта становятся валы и погребенные под ними почвы укрепленных городищ, например X-XIII вв для русских поселений. Хорошую распространенность имеют так называемые «змиевы валы» различного времени (преимущественно, не старше 300 лет, например, вал Анны Иоановны, или Оренбургская укрепленная линия) и локализации, часть из них также находится под лесной растительностью. Но действительно широко распространены западносибирские углубленные жилища в обваловками-«бубликами», когда стена жилища подсыпалась снаружи в начальный момент строительства. Они имеют вид жилищных впадин, окруженных невысокой насыпью. Возраст этих насыпей самый различный и доходит вглубь до энеолита. Лесная растительность, безусловно, будет нарушать картины, привычные нам в степной зоне, когда слои лежат ровно и расположены, в основном, последовательно, в порядке формирования-нарастания. В лесопокрытых курганах и насыпях смазывать почвенные картины, кроме землероев, будут турбации почвы вследствие вывала деревьев, возраста и состава леса.

Памятник Ямгорт является труднодоступным, попасть на него можно только водным путем. В системе физико-географического районирования поселение располагается в Войкарской подпровинции Северо-Сосьвинской провинции лесной равнинной широтно-зональной области Западно-Сибирской равнины северо-таежных ландшафтов. Лесной ярус региона представлен лиственницей, елью, березой, кедром, на поселении лес смешанный редкостойный. Почвообразующими породами служат четвертичные песчаные отложения водно-ледникового генезиса, на которых формируются подзолы иллювиально-железистые. Климат характеризуется количеством осадков 400-460 мм в год. Средние температуры января минус 22 °С, июля – плюс 14 °С.

Археологические раскопки были выполнены с параллельным отбором образцов почв с целью изучения палеопочв, погребенных под обваловкой жилищной впадины с разновременной досыпкой, а также формированием почвы на насыпи. Также рассмотрены образцы почвы окраины поселения, в качестве фоновой почвы, и разрез межжилищного пространства с рядом отраженных в нем этапов бытования и осадконакопления. Выполнены морфологические описания, проведена обработка образцов с крупным массивом полученных лабораторных данных. Из заполнения котлована жилища и стратиграфических разрезов были отобраны более 100 проб почв. Использованы общепринятые методы определения углерода, емкости катионного обмена, состава обменных катионов; фосфаты по Кирсанову; гранулометрический состав пирофосфатным методом; железо по Тамму.

Новизна нашей работы на поселении Ямгорт состоит в выделении трех этапов эксплуатации памятника по следам в почвах, с чем согласны два почвоведа разных школ – авторы коллектива, на основании гранулометрии, данных гумуса, железа и фосфатов, с подтверждением археологическим данными по стратиграфии и распределению

артефактов. Отметим, что почвенная лаборатория заранее не была уведомлена об этапах эксплуатации памятника, данный вывод был сделан независимо и совпал с археологической картиной.

Работа выполнена при поддержке РФФИ 19-49-890003 р_а: "Реконструкция палеоэкологических условий проживания древних коллективов эпохи энеолита и бронзы Севера Западной Сибири", химические анализы почв выполнены на приборной базе Центра коллективного пользования ФИЦ ПНЦБИ РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. Борисов А.В., Идрисов И.А., Коробов Д.С., Ельцов М.В., Савицкий Н.М., Плеханова Л.Н. Земледельческие террасы с межевыми откосами в горном Дагестане // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. 2016. Т. 10. № 4. С. 85–97.
2. Зданович Г.Б., Иванов И.В., Плеханова Л.Н. Музей-заповедник "Аркаим" в Стране Городов // Природа. 2001. № 9 (1031). С. 50–58.
3. Каширская Н.Н., Плеханова Л.Н., Петросян А.А., Потапова А.В., Сыроватко А.С., Клещенко А.А., Борисов А.В. Подходы к выявлению изделий из шерсти по численности кератинолитических микроорганизмов в грунтах древних и средневековых погребений // Нижневолжский археологический вестник. 2018. Т. 17. № 2. С. 95–107.
4. Каширская Н.Н., Плеханова Л.Н., Удальцов С.Н., Чернышева Е.В., Борисов А.В. Механизмы и временной фактор ферментативной организации палеопочв // Биофизика. 2017. Т. 62. № 6. С. 1235–1244.
5. Плеханова Л.Н., Каширская Н.Н., Сыроватко А.С. Активность целлюлозолитических микроорганизмов в грунтах кремированных захоронений как индикатор деталей погребального обряда // Нижневолжский археологический вестник. 2020. Т. 19. № 1. С. 116–129.
6. Плеханова Л.Н., Ткачев В.В. Физико-химические свойства почв многослойного поселения эпохи бронзы в окрестностях г. Гай // Поволжская археология. 2013. № 4 (6). С. 225–234.
7. Golyeva A., Khokhlova O., Lebedeva M., Shcherbakov, Shuteleva S. Micromorphological and Chemical Features of Soils as Evidence of Bronze Age Ancient Anthropogenic Impact (Late Bronze Age Muradymovo Settlement, Ural Region, Russia) // Geosciences. 2018. N. 8(9). Article No. 313. DOI:10.3390/geosciences8090313.
8. Plekhanova L.N., Tupakhina O.S. Paleocryogenic traces of climatic peaks of the Late Pleistocene periglacial hyperzone of the mammoth steppe in soils of archaeological sites // IOP conference series: Earth and environmental science. Ninth international symposium "Steppes of Northern Eurasia". 2021. Article No. 012086. DOI: 10.1088/1755-1315/817/1/011001
9. Prikhodko V.E., Manakhova E.V., Manakhov D.V., Plekhanova L.N., Zakharova Y.V. Humus state change of Zaural steppe soils at preserve regime // Moscow University Soil Science Bulletin. 2006. V. 61. P. 106–117.
10. Zhuravleva A.I., Myakshina T.N., Blagodatskaya E.V. The effect of pyrogenically modified substrates on mineralizing activity and growth strategies of microorganisms of grey forest soil // Microbiology (Mikrobiologiya). 2011. V. 80. N. 2. P. 194–204. DOI: 10.1134/S0026261711020202

PALEOSOIL STUDY OF MULTILAYER ARCHAEOLOGICAL SITES IN THE SANDY LOAM OF THE NORTHERN TAIGA OF WESTERN SIBERIA

L.N. PLEKHANOVA, O.S. TUPAKHINA, R.A. KOLESNIKOV

Key words: *pleosoils, archaeological sites, settlements, Bronze Age, Eneolithic, Western Siberia*

ФЛУКТУАЦИЯ ПОГОДНЫХ ЯВЛЕНИЙ И ДИНАМИКА ПОЧВЕННЫХ УСЛОВИЙ В ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ГОРНОГО КРЫМА

Ю.В. ПЛУГАТАРЬ, В.П. КОБА, В.В. ПАПЕЛЬБУ, М.Л. НОВИЦКИЙ

Никитский ботанический сад, г. Ялта

Ключевые слова: *влажность, горные ландшафты, динамика, почвы, состав, структура, температурный режим*

В последние десятилетия в результате глобального потепления возросла частота и интенсивность экстремальных погодных явлений, что оказывает влияние на состояния и устойчивость природных экосистем (Корсакова, 2018). Во многих исследованиях показано, что наиболее значительные негативные изменения происходят в растительных и почвенных биоценозах (Припутина и др., 2020; Underwood et al., 2019). Гумусообразование и влагонакопление в почвенной среде выступают важнейшими факторами формирования условий роста и развития растений. В свою очередь деградация растительных сообществ оказывает влияние на состояние и устойчивость почвенного покрова. В этой экологической связке важное значение имеют вопросы оценки и анализа критических фаз развития, перехода биосистем на новый уровень гомеостаза, часто более низкий по энергетическому балансу и биоразнообразию (Казимирова, 2005).

Особую актуальность эти проблемы имеют для горных ландшафтов Юго-Восточного Крыма, где значительная деградация растительности, в первую очередь лесной, связанная с нерациональной хозяйственной деятельностью в прошлом, и усиление рекреационной деятельности в последние годы повышают экологические риски масштабной трансформации почвенно-растительного покрова (Кобечинская и др., 2019). Изучение почвы в Горном Крыму имеет значительную историю, однако до сегодняшнего времени слабо освещены вопросы изменения почвенных условий с высотной поясностью, оценки специфики формирования их качественных характеристик на территориях посткризисного антропогенного воздействия.

Цель исследований – изучение качественных характеристик почвы в различных высотных поясах горных ландшафтов Восточного Крыма на территориях антропогенно трансформированных растительных сообществ, анализ почвенных условий в связи с флуктуацией погодных явлений.

Исследования проводили в Восточной части Горного Крыма в первой половине сентября 2020 г. По трем гипсометрическим профилям на высотах 100, 300 и 600 м н. у. м. в Алуштинском районе от п. Лазурное до п. Малореченское на территории произрастания дубовых насаждений были заложены пробные площади (ПП), на которых изучали почву по профилю в слоях 0…10, 10…20, 20…30, 30…40 и 40…50 см.

В условиях Восточного части Горного Крыма, как и для многих засушливых регионов, температура и осадки выступают наиболее важными факторами, определяющими специфику условий произрастания. В этой связи при анализе особенностей генезиса почвенного покрова важное значение имеет ретроспективная оценка погодных условий в регионе. Средние величины количества осадков летнего сезона по десятилетиям за 60-ти летний период, сопоставимый с возрастом формирования 2…3-х генераций древесных растений, показывают, что достаточно стабильные и относительно благоприятные условия по увлажненности в июле − августе складывались в конце прошлого столетия. В этот период количество осадков летом в среднем составляло 110 мм. Наиболее неустойчивая ситуация

по количеству осадков летнего сезона отмечена в 70-е годы XX в. и в последнее десятилетие анализируемого хронологического ряда.

Температурный режим анализируемого 60-летнего периода также характеризовался высокой динамикой, при этом отмечена тенденция увеличения суммы положительных температур летнего сезона. В 60-80-е годы прошлого столетия средняя величина суммы положительных температур летнего сезона изменялась незначительно, в 90-е годы произошло заметное ее увеличение. В последующем интенсивность прироста среднего значения суммы положительных температур по десятилетиям возрастала, достигнув максимума 106 °С в последнее десятилетие. В целом за 60-летний период рост средней суммы положительных температур летнего сезона составил 278 °С, или 14,0% от уровня 60-х годов прошлого столетия. Примерно такую же динамику средних по десятилетиям величин суммы положительных температур летнего сезона за анализируемый период дают метеоданные Никитской и Ялтинской метеорологических станций. Таким образом, выявленные тенденции изменения температурного режима в летние месяцы имеют региональный характер и, безусловно, оказывают непосредственное влияние не только на развитие растительных сообществ, но и на формирование почвенного покрова. Известно, что тепловой режим во многом определяет состояние почвенной среды, экстремальные температуры выступают одним из лимитирующих факторов процесса почвообразования (Куликова, 2007). По нашим данным на южном макросклоне Главной гряды Крымских гор на высоте 600 м н. у. м. поверхность почвы в июле может нагреваться до 67 °С (Сухачева, Ревина, 2020).

Анализируя в целом экологическую ситуацию в регионе, следует отметить, что температурный режим Юго-Восточной части Горного Крыма – наиболее важный лимитирующий фактор, определяющий влагонакопление в почвенной среде. Дальнейшее усиление негативных явлений, связанных с повышением температуры и изменением характера выпадения осадков, может способствовать развитию масштабной деградации почвенного покрова региона. В этой связи важное значение приобретает формирование новых подходов анализа состояния почвенно-климатических условий в горной местности, разработка методов интегральной оценки водного баланса территорий на основе учета орографических факторов, режима инсоляции, специфики влагонакопления в различных типах почвы. Создание базы данных характеристик почвенной среды, хронологический анализ изменения условий произрастания позволят разработать систему моделирования и прогноза трансформации состояния почвенного покрова региона. Учитывая исторически высокий уровень антропогенного воздействия, горные ландшафты Восточного Крыма могут быть использованы как базовые объекты при разработке методов экологической оптимизации процессов восстановления утраченных природных растительных сообществ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Казимирова Р.Н. Почвы и парковые фитоценозы Южного берега Крыма. Киев: Аграрна наука, 2005. 183 с.
2. Кобечинская В.Г., Ярош О.Б., Ивашов А.В. Апостолов В.Л Особенности трансформации органического вещества в лесных заповедниках Крыма // Юг России: экология, развитие, 2019. Т. 14 № 3. С. 37–52.
3. Корсакова С.П. Прогнозные оценки тепловых ресурсов для адаптации растениеводства и лесного хозяйства к изменениям климата // АгроЭкоИнфо. 2018. № 3. URL: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2018/3/st_359.doc/ (дата обращения 23.07.2020)

4. Куликова А.Х. Экологические функции почвы // Вестник Ульяновской ГСХА. 2007. №1 (4). С. 3–7.
5. Припутина И.В., Фролова Г.Г., Шанин В.Н., Мякшина Т.Н., Грабарник П.Я. Распределение органического вещества и азота в дерново-подбурах Приокско-Террасного заповедника и его связь со структурой лесных фитоценозов // Почвоведение. 2020. № 8. С. 921–933.
6. Сухачева Е.Ю., Ревина Я.С. Цифровая почвенная карта Южного берега Крыма // Почвоведение. 2020. № 4. С. 389–397.
7. Underwood E.C., Hollander A.D., Safford H.D., Kim J.B., Srivastava L., Drapek R.J.. The impacts of climate change on ecosystem services in southern California // Ecosystem Services. 2019. V. 39. DOI:10.1016/j.ecoser.2019.101008

FLUCTUATION OF WEATHER PHENOMENA AND DYNAMICS OF SOIL CONDITIONS IN THE EASTERN PART OF MOUNTAIN CRIMEA

Yu.V. PLUGATAR, V.P. KOBA, V.V. PAPELBU, M.L. NOVITSKY

Key words: *soils, dynamics, structure, composition, humidity, mountain landscapes, temperature regime.*

ЭКОЛОГО-ДИНАМИЧЕСКИЙ РЯД АЛЛЮВИАЛЬНЫХ СУКЦЕССИЙ В ПОЙМЕ РЕКИ ЛУГА (ЛЕНИНГРАДСКАЯ ОБЛАСТЬ)

А.Ф. ПОТОКИН, О.В. ИГНАТЬЕВА

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический
университет имени С.М. Кирова, г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: *аллювиальные почвы, динамика, пойменные ландшафты, растительный покров, эколого-динамические ряды, эрозионные процессы*

Поймы рек – это экосистемы, которые формируются в чрезвычайно динамичных условиях пойменных и аллювиальных процессов. Их почвы и растительный покров отличаются изменчивостью во времени и в пространстве (Шраг, 1969; Ильина, 1999). Растительные сообщества отражают зрелость пойменного ландшафта (Титов, Потокин, 2001).

Наша работа посвящена изучению особенностей структуры и динамики растительного покрова в пойме р. Луга на почвах характерных элементов пойменного ландшафта. Особое внимание уделено выявлению рядов сукцессионных смен растительности от пионерных сообществ на песчаном аллювии кос до развитых зональных фитоценозов на надпойменных террасах.

Русловой процесс вызывает переотложение аллювиальных частиц, полученных в результате эрозионной деятельности речного потока, ведущее к непрерывным изменениям морфологического строения русла и поймы реки (Петров, 1979). На обследованном участке реки Луги нами встречены следующие типы руслового процесса: свободное и ограниченное меандрирование, а также русловая многорукавность.

На всех обследованных элементах пойменного ландшафта по данным СПбГУ (Орешкин и др., 2004) наиболее распространены четыре типа почв с характерной для них растительностью.

Аллювиальные слоистые почвы. Формируются на прирусловых валах. Представляет собой чередование крупно песчаных речных наносов и гумусовых прослоек. К этим почвам приурочены сухие пойменные луга.

Аллювиальные светлогумусовые почвы. В верхней части почвы светло-гумусовый горизонт серого или буровато-серого цвета, с развитой дерниной. Ниже залегает дренированный песчаный аллювий. Этот тип почв характерен для участков высокой центральной и прирусловой поймы. На них формируются крупнозлаковые луга и ивняки.

Аллювиальные тёмно-гумусовые почвы. В верхней части почвенного профиля формируется зернисто-комковатый тёмно-бурый горизонт мощностью до 50 см и более. Ниже он переходит в неоглеённые суглинистые аллювиальные отложения. Эти почвы характерны для высоких и средних участков поймы. На них формируются разнотравные и разнотравно-злаковые луга, вязовники и смешанные мелколиственно-широколиственные леса. Эти почвы являются самыми плодородными не только в поймах, но и во всей таёжной зоне.

Аллювиальные перегнойно-глеевые почвы. В верхней части формируется сизовато-чёрный перегнойный илистый горизонт, с плохо выраженной структурой. Он переходит в илистый грязно-сизый глеевый слой. Почвы формируются по днищам пересыхающих проток и стариц в притеррасной и центральной части поймы. Здесь формируются заболоченные луга и низинные болота.

Все рассмотренные местообитания хорошо различаются особенностями динамики субстрата и растительного покрова. Характеристика пойменных местообитаний на ландшафтной основе позволяет характеризовать плодородие почв, растительность и ее

эколого-динамические ряды. Характерный ряд аллювиальных сукцессий – лесной. Эколого-динамические ряды начинаются с разреженных пионерных сообществ прибрежно-водных и болотных растений на молодых аллювиях, а заканчиваются развитыми лесными фитоценозами надпойменных террас, приближающимися к зональному типу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ильина И.С. Структурно-динамический подход при классификации и районировании растительного покрова (на примере пойменных экосистем): Учебное пособие. СПб: Изд-во СПбУ, 1999. 44с.
2. Орешкин Д.Г., Мирин Д.М., Матвеев И.В. Полевая практика по геоботанике для студентов старших курсов. СПб: Изд-во СПбГУ, 2004. 178 с.
3. Петров И.Б. Обь-Иртышская пойма. Типизация и качественная оценка земель. Новосибирск: Наука, 1979. 136 с.
4. Титов Ю.В., Потокин А.Ф. Растительность поймы реки Таз: Монография. Сургут: Изд-во СугГУ, 2001. 141 с.
5. Шраг В.И. Пойменные почвы, их мелиорация и сельскохозяйственное использование. М.: Россельхозиздат, 1969. 272 с.

ECOLOGICAL-DYNAMIC RANGE OF ALLUVIAL SUCCESSIONS IN THE FLOODPLAIN OF THE LUGA RIVER (LENINGRAD REGION)

A.F. POTOKIN, O.V. IGNATIEVA

Key words: *dynamics, vegetation cover, alluvial soils, erosion processes, floodplain landscapes, ecological-dynamic series*

ВКЛАД КОРНЕВЫХ ЭКСУДАТОВ В ЭМИССИЮ CO_2 И ДОСТУПНОСТЬ АЗОТА В ЛЕСНЫХ ПОЧВАХ: ИМИТАЦИОННЫЕ ОЦЕНКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМА, УЧИТЫВАЮЩЕГО ЭФФЕКТЫ ПРАЙМИНГА И ПОЧВЕННЫХ ТРОФИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

И.В. ПРИПУТИНА[1], О.Г. ЧЕРТОВ[2], П.В. ФРОЛОВ[1], В.Н. ШАНИН [1,3], П.Я. ГРАБАРНИК[1]

[1]Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения Российской академии наук – обособленное подразделение ФИЦ ПНЦБИ РАН, г. Пущино
[2]Технический университет, Бинген, Германия
[3]Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов Российской академии наук, г. Москва

Ключевые слова: *азот, имитационные оценки, корневые эксудаты, прайминг-эффект, ризосферная почва, углерод*

Исследования вклада лесных почв в депонирование углерода и эмиссию CO_2 не теряют своей актуальности. В том числе, в рамках анализа эффективности климатических проектов возрастает значение модельных оценок соотношения этих потоков для разных типов почв, лесообразующих пород и планируемых сценариев лесопользования.

В почвенных моделях динамики органического вещества (ОВ), как правило, рассматривается поступление основных фракций поверхностного опада (листвы/хвои, ветвей, коры) и внутрипочвенного отпада тонких корней. Но известно, что в процессе роста растений в почву поступает значительное количество прижизненных корневых выделений – ризодепозитов (Jones et al., 2009). В их число входят корневые эксудаты, на долю которых по разным оценкам приходится от 1 до 12% NPP (Grayston et al., 1996; Phillips et al. 2008). С поступлением в почву ризодепозитов связывают прайминг-эффект (Kuzyakov, 2002), который проявляется в возрастании почвенной эмиссии CO_2 за счет ускорения минерализации ОВ почв микроорганизмами (МО). Для лесных почв исследования вклада прайминг-эффекта в эмиссию CO_2 единичны.

Цель данной работы – оценка возможного вклада ризосферного прайминг-эффекта в эмиссию CO_2 лесными почвами на основе методов имитационного моделирования, что позволяет учесть различные сценарии почвенно-растительных условий. Помимо образования CO_2, связанного с прайминг-эффектом, в имитационных оценках учитывались процессы трансформации ОВ в почвенных пищевых сетях (Komarov et al., 2017).

В расчетах использован алгоритм (Chertov et al., 2021), в котором рассматриваются следующие сопряженные процессы: (1) рост биомассы ризосферных МО за счет легкодоступных C и N корневых эксудатов; (2) дополнительный рост биомассы МО за счет не обеспеченного азотом «остаточного» C эксудатов и легкодоступного N, получаемого в результате процесса «добычи азота» (nitrogen mining) из ОВ ризосферной почвы; (3) потребление биомассы МО фауной почвенных пищевых сетей с последующим формированием экскрементов и мортмассы, возвращающихся в ОВ почвы, а также доступного корням растений аммония жидких экскретов простейших и нематод.

Количественные оценки выполнены для ризосферной части горизонта Ah дерново-подзолистой суглинистой почвы под хвойно-лиственными насаждениями. Использованы экспериментальные данные одного из участков Гришкинской дачи Лисинского учебного лесничества в Ленинградской области (Чертов и др., 2011). Рассмотрены 2 сценария поступления корневых эксудатов – 15 и 3 мг [C] м-2 в месяц, соответствующие экспериментальным данным из работ (Phillips et al. 2008; Bengtson et al. 2012).

Модельные расчеты показали, что интенсивность процессов микробного дыхания в ризосферной части почвы, на долю которой приходится 1.3% C всего горизонта Ah, сопоставима с показателями минерализации ОВ во всем горизонте. В зависимости от

количества поступающих эксудатов, эмиссия CO_2, связанная с прайминг-эффектом, составляет 16 и 4.2 г [C] $м^{-2}$ в месяц, а для всего горизонта Ah – 37.0 г [C] $м^{-2}$ в месяц. В отсутствие прайминг-эффекта, минерализация ОВ ризосферной части почвы не превышает 0.5 г [C] $м^{-2}$ в месяц. Количество почвенного C, минерализованного в результате процесса «добычи азота» достигает 16–28% от поступающего с эксудатами.

При максимуме эксудатов, процесс «добычи азота» из ОВ ризосферной почвы определяет доступность микроорганизмам дополнительно 0.19 г [N] $м^{-2}$ в месяц, что лишь вдвое меньше количества азота в корневых эксудатах (0.38 г [N] $м^{-2}$ в месяц). Суммарное количество доступного азота, образующегося в процессах, связанных с ризосферным прайминг-эффектом, может достигать 9-44% от количества N, образующегося при минерализации всего горизонта, которое для рассматриваемой почвы оценивается в 2.05 г [N] $м^{-2}$ в месяц.

Полученные оценки отражают важность целевой функции ризосферного прайминг-эффекта для системы «растение – микроорганизмы – почвенная фауна – ОВ почв», которая проявляется в ускорении почвенных циклов C и N.

Исследования выполняются при финансовой поддержке РНФ (проект № 18-14-00362-П).

ЛИТЕРАТУРА

1. Чертов О.Г., Грязькин А.В., Смирнов А.П., Ковалев Н.В. Изменения баланса C и биологической продуктивности лесных насаждений при разных режимах лесопользования // Известия С.-Петербургской лесотехнической академии. 2011. Вып. 197. С. 263–272.
2. Bengtson P., Barker J., Grayston S.J. Evidence of a strong coupling between root exudation, C and N availability, and stimulated SOM decomposition caused by rhizosphere priming effects // Ecology and Evolution. 2012. V. 2(8). P. 1843–1852.
3. Chertov O. Kuzyakov Y., Priputina I., Frolov P., Shanin V., Grabarnik P. An Approach to Incorporate Rhizosphere Priming Effect into Soil Organic Matter Models (Preprint) // Research Square. 2021. DOI: 10.21203/rs.3.rs-277431/v1
4. Grayston S.J., Vaughan D., Jones D. Rhizosphere carbon flow in trees, in comparison with annual plants: the importance of root exudation and its impact on microbial activity and nutrient availability // Applied Soil Ecology. 1996. V. 5. P. 29–56.
5. Jones D.L., Nguyen C., Finlay R.D. Carbon flow in the rhizosphere: carbon trading at the soil–root interface // Plant and Soil. 2009. V. 321. P. 5–33.
6. Komarov A., Chertov O., Bykhovets S., Shaw C., Nadporozhskaya M., Frolov P., Shashkov M., Shanin V., Grabarnik P., Priputina I., Zubkova E. Romul_Hum model of soil organic matter formation coupled with soil biota activity. I. Problem formulation, model description, and testing // Ecological Modelling. 2017. V. 345. P. 113–124.
7. Kuzyakov Y. Factors affecting rhizosphere priming effects // Journal Plant Nutrition and Soil Science. 2002. V. 165. P. 382–396.
8. Phillips R.P., Erlitz Y., Bier R., Bernhardt E.S. New approach for capturing soluble root exudates in forest soils // Functional Ecology. 2008. V. 22. P. 990–999.

THE CONTRIBUTION OF ROOT EXUDATES TO CO_2 EMISSIONS AND NITROGEN AVAILABILITY IN FOREST SOILS: SIMULATION ESTIMATES USING AN ALGORITHM THAT TAKES INTO ACCOUNT THE EFFECTS OF PRIMING AND SOIL FOOD WEBS

I.V. PRIPUTINA, O.G. CHERTOV, P.V. FROLOV, V.N. SHANIN, P.Ya. GRABARNIK

Key words: *carbon, nitrogen, rhizosphere soil, root exudates, priming effect, simulation assessments*

ВЛИЯНИЕ ТРОФИЧЕСКОЙ РОЛИ ПОПУЛЯЦИИ ЛОСЯ (ALCES ALCES L.) НА ПРОЦЕССЫ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПОЧВЫ В ЭКОСИСТЕМАХ ЮЖНОЙ ТАЙГИ ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ

С.М. РАЗГУЛИН

Институт лесоведения Российской академии наук, с. Успенское

Ключевые слова: *аммонификация, лесные почвы, лось, минерализация соединений азота, нитрификация*

На протяжении 2017 и 2018 гг. исследовались результаты 25-летней изоляции участка елово-березового леса (6Е4Б, 100 лет, I класс бонитета) с дерново-среднеподзолистой почвой в Ярославской области от присутствия лося. Не получено однозначных изменений в содержании и сезонной динамике органического углерода, минерального и общего азота в почве неогороженного и огороженного участков, что отмечалось и ранее (Burkea et al., 2019). В среднем за годы исследования с мая по ноябрь в горизонтах неогороженного участка (см) A0-A1(0-4) и A1(4-12) аммонифицировалось 5.7±0.3 и 3.4±0.3 гNм$^{-2}$ нитрифицировалось 2.5±0.03 и 3.3±0.07 гNм$^{-2}$, составляя в сумме 15±0.4 гNм$^{-2}$ минерализованного азота. В этих же горизонтах почвы огороженного участка продукция аммонификации составляла 3.8±0.5 и 3.4±0.2 гNм$^{-2}$, а нитрификация была равна 1.4±0.04 и 1.8±0.06 гNм$^{-2}$ соответственно, составляя в сумме 10±0.5 гNм$^{-2}$. Указанное различие в продуктивности процесса минерализации между участками достоверно при $P<0.05$. Присутствие лося в 1.5 раза увеличивает количество минерализованного азота почвы. Снижение продуктивности процесса на изолированной площади обеспечило уменьшение аммонификации в горизонте A0–A1 в 1.5 раза и снижение во всем профиле нитрифицированного азота в 1.7 раза по сравнению с неогороженным участком. От запасов Nобщ в верхнем и нижнем горизонтах почвы нетто-минерализованный азот составлял 7 и 5.3% на неогороженном участке и 3.7% в обоих горизонтах в изолированном варианте.

Продукция диоксида углерода из почвы насаждения за годы исследований была выше на изолированном участке, составляя 552±82 гСм$^{-2}$ против 319±47 гСм$^{-2}$ на неогороженной площади. Полученные данные противоречили результатам исследования экологического ряда южнотаежных березняков, где увеличение нетто-минерализации азота за вегетацию соответствовало увеличению продукции диоксида углерода как показателя деструкционных процессов почвы (Разгулин, 2017).

Копытные снижают нетто-минерализованный азот почвы при высокой численности популяции, достигающей 40 голов на 1000 га (Pastor et al., 1993). В районе исследований этот показатель не превышает 3 головы на 1000 га (Смирнов, 2007). Действие копытных на эмиссию CO_2 из лесных почв неоднозначно и зависит от трофности экотопов (Popma, Nadelhoffer, 2020).

При указанной плотности популяции лося, поступление азота с выделениями животного не превышает 0.012 гNм$^{-2}$ год$^{-1}$ и в реальности будет еще меньше, так как скорость минерализации лосиных «шариков» крайне низка – 0.65% N в год (Pastor et al., 1993).

На исследуемых участках рябина была преобладающим видом, составляющим более 50% надземной биомассы подлеска. В неизолированном варианте ее высота не превышала 1.7 м с плоской, воронковидной кроной, регулярно объедаемой лосем. Листья имели черную кайму, листовая масса была ниже, чем на огороженной площади, в 2.3 раза (Смирнов, 2007). На экспериментальном участке рябина образовала сомкнутый ярус высотой 5–6 м с

густой, хорошо облиственной кроной. На неогороженной площади трофические травмы кроны снижали продукцию фотосинтеза и ограничивали количество корневых экссудатов, поступающих в почву, что уменьшало эктомикоризацию тонких корней и вызывало депрессию респираторной функции почвы, но, возможно, стимулировало минерализацию соединений азота почвы (Carline, Bardgett, 2005).

Одновременное измерение минерализации азота и эмиссии диоксида углерода из почвы дает возможность приближенно оценить взаимодействие деструкционных параметров и минерализации азота. Получаем, что на 1 г C-CO_2 в почве изолированного участка минерализуется (Nм:C-CO_2) 19 мг азота, а в почве контрольного участка в 2.5 раза больше – 47 мг. Несмотря на это, продуктивность фитоценозов на огороженном и неогороженном участках была близка.

В большинстве случаев содержание аммония, активность аммонификации и эмиссии диоксида углерода распределялись по нормальному закону. Однако присутствие лося изменяет распределение содержания аммония в верхнем горизонте почвы с нормального на огороженном участке на логнормальное на контрольной площади.

ЛИТЕРАТУРА

1. Разгулин С.М. Цикл азота в экосистемах березовых лесов южной тайги европейской части России. Автореф. дис… докт. биол. наук. М.: 2017. 40 с.
2. Смирнов К.А. Закономерности формирования подроста и подлеска в южно-таежном ельнике при разной трофической нагрузке лося // Лесоведение. 2007. № 3. С. 52–58.
3. Burke D., Carrino-Kyker S., Hoke A., Steven Cassidy S., Bialic-Murphy L., Kalisz S. Deer and invasive plant removal alters mycorrhizal fungal communities and soil chemistry: Evidence from a long-term field experiment // Soil Biology and Biochemistry. 2019. V. 128. P. 13–21.
4. Carline K., Bardgett R. Changes in tree growth resulting from simulated browsing have limited effects on soil biological properties // Soil Biology and Biochemistry. 2005. V. 37. P. 2306–2314.
5. Pastor J., Dewey B., Naiman R., Mcinnes P., Cohen Y. Moose brousing and soil fertility in the boreal forests of Isle Royale National Park // Ecology. 1993. V. 74. P. 467–480
6. Popma J., Nadelhoffer K. Deer browsing effects on temperate forest soil nitrogen cycling shift from positive to negative across fertility gradients // Canadian Journal of Forest Research. 2020. V. 50. P. 1281–1288.

THE INFLUENCE OF THE TROPHIC ROLE OF THE ELK POPULATION (ALCES ALCES L.) ON THE PROCESSES OF MINERALIZATION OF SOIL ORGANIC MATTER IN THE ECOSYSTEMS OF THE SOUTHERN TAIGA OF EUROPEAN RUSSIA

S.M. RAZGULIN

Key words: *Forest soils, mineralization of nitrogen compounds, ammonification, nitrification, elk*

ГОРНЫЕ КОРИЧНЕВЫЕ ЛЕСНЫЕ «ТИПИЧНЫЕ» ПОЧВЫ АЗЕРБАЙДЖАНА

Ф.М. РАМАЗАНОВА, М.П. БАБАЕВ, Р.И. БАБАЕВА

Институт почвоведения и агрохимии Национальной академии наук Азербайджана, г. Баку

Ключевые слова: *горные коричневые лесные "типичные" почвы, гранулометрический состав, гумус, мощность горизонта, pH*

Горные коричневые лесные «типичные» почвы распространены в поясе средних и низких гор северо-западной Малого и южной части Большого Кавказа, по средним течениям рек Акстафа чай, Асрикчай в пределах Казахского и Таузского районов (Салаев, 1966). В исследованиях В.В. Акимцева (1927) и И.З. Имшенецкого (1928) в поясе лесов Большого и Малого Кавказа в пределах Азербайджана эти почвы были описаны и картированы как коричневые лесные почвы. И впервые А.К. Зейналовым (1949) были выделены коричневые лесные «типичные» почвы для дубово-грабовых (Quercus – Carpinus) лесов на южном склоне Муровдагского хребта Малого Кавказа.

Рельеф – слаборасчлененная поверхность среднегорной зоны на высоте 600-1200 м н.у.м. Эти почвы формируются на известняках, мергелях, часть на щебнистом глинистом карбонатном делювии под дубово-грабовыми, низкорослыми более ксерофильными дубравами.

Исследованиями установлена большая изреженность древостоя. Здесь хорошо развит подлесок (*Cornus mas*, *Crataegus*, *Córnus álba*) и травянистый покров (*Poa*, *Trifolium*, *Festuca*), которые сформировали более плотный дерновый слой. Климат характеризуется более повышенной температурой поздней весной и летом (май-август) и низкой – зимой (декабрь-январь).

В морфологическом отношении горные коричневые лесные «типичные» почвы можно охарактеризовать монотонным видом всего профиля, выделением карбонатов в виде прожилок или мицелия, более растянутым гумусовым профилем (50-60 см), наличием ниже 50-60 см иллювиального горизонта, признаки оглинения в горизонте В выражены слабо.

Для этих почв характерно несколько высокое содержание гумуса в верхних горизонтах (10.4-11.0%) и постепенным спадом его с глубиной. Величина азота в гор. А1 колеблется в пределах 0.79-0.84%. Отношение C:N – 7.5-7.8 при постепенном убыванием с глубиной, которое хорошо согласуется с распределением азота и гумуса по профилю почвы. Высокое содержание гумуса обеспечивается не только обилием растительного опада, но и благоприятными условиями их разложения и химическим составом органических веществ, которые образуют с полуторными окислами в почве менее подвижные формы гумусовых соединений.

Наличие горизонта карбонатного иллювия является характерным диагностическим признаком для горных коричневых лесных «типичных» почв. Карбонаты отмечаются ниже 40-51 см, с резким увеличением (4-27.1% $CaCO_3$) в нижних горизонтах (В3 и В3/С). Это связано в основном влиянием карбонатных почвообразующих пород (плотные известняки и карбонатно-глинистые делювии). Содержание P_2O_5 в верхнем гумусовом горизонте составляет 37.9-39.8 мг/кг почвы.

Значительная часть корней (64.1% от суммы корней) сосредоточена в слое почвы 0-25 см. В метровой толще почвы из всего количества корней (23.7 т/га) около 5.9 т/га составляет мертвые корни, подвергшихся уже различной степени гумификации. Отмечено повышенное содержание обменных оснований (Ca++ – 94,8% в горизонтах А1 и В3) – и высокая величина

емкости поглощения (35.1-58.9 мг-экв./100 г почвы, с глубиной – постепенно уменьшается). Высокое содержание Ca в гор. A1 связано с биогенной аккумуляцией зольных элементов, а в гор. B3 – с наличием соединения $CaCO_3$. Обменный водород отсутствует, величина обменного Mg – несколько меньше (17.9-4.5% от суммы обменных оснований), pH – 7.3-7.5 (в верхних слоях), а с глубиной составляет 8.1-8.4.

По гранулометрическому составу – глинистые, тяжело – среднесуглинистые, величина <0.01 мм в верхних горизонтах составляет 39.8-58.1%. Илистые частицы накапливаются в средней части профиля и признаки слабого илювиирования связано с формированием данных почв в условиях ослабленной миграции продуктов почвообразования, повышенной температурой и дефицитом влаги по сезонам. То есть, в горных коричневых лесных «типичных» почвах оглинение в значительной мере протекает при внутрипочвенном выветривании, путем глубокого распада первичных минералов и образования вторичных глинистых минералов in situ (Салаев и др., 2004; Бабаев и др., 2004, 2019; Ramazanova, 2017).

Работа выполнена по государственному заданию Института почвоведения и агрохимии Национальной академии наук Азербайджана.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акимцев В.В. Краткий предварительный отчет об исследовании почв кооператива «Конкордия». Баку: «Конкордия», 1927. 55 с.
2. Бабаев М.П., Рамазанова Ф.М., Наджафова С.И., Гурбанов Э.А. Почвы Азербайджанской республики М.: LAMBERT Academic Publishing, 2019. 275 с.
3. Зейналов А.К. Лесные почвы хребта Муровдаг Малого Кавказа // Известия АН Азерб. ССР. № 1. С. 10–14.
4. Имшенецкий И.З. Почвы юго-восточной части Главного Кавказского хребта и его предгорий. Мат. по районированию Азерб.ССР. Баку, 1928. Т.VI. вып.4.
5. Салаев М.Э. Почвы Малого Кавказа. Баку: АН Аз. ССР, 1966. 328 с.
6. Салаев М.Э., Бабаев М.П., Джафарова Ч.М., Гасанов В.Г. Морфогенетические профили почв Азербайджана. Баку: «Элм», 2004. 202 с.
7. Ramazanova F.M. Influence of the Intermediate Sowings of Fodder Crops on the Agrofisical Indicators of the Irrigated Soils in Azerbaijan Dry Subtropics // Russian Agricultural Sciences. Vol. 43. No. 5. P. 410–413.

MOUNTAIN BROWN FOREST "TYPICAL" SOILS OF AZERBAIJAN

F.M. RAMAZANOVA, M.P. BABAYEV, R.I. BABAYEVA

Key words: *mountain brown forest "typical" soils, horizon thickness, humus, pH, grading*

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ СО ВТОРЫМ ГУМУСОВЫМ ГОРИЗОНТОМ НА ТЕРРИТОРИИ СМОЛЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

О.А. РЕВИНА[1], А.Г. РЕВИН[2]

[1]Смоленский государственный университет, г. Смоленск
[2]Смоленский филиал Финансового университета при Правительстве РФ, г. Смоленск

Ключевые слова: *гумус, изменение климата, реликтовый горизонт, Смоленская область, химические свойства*

Современное состояние почвенного покрова Смоленской области является результатом воздействия природных и антропогенных факторов. Климатический фактор оказал исключительно большое воздействия как на морфологические признаки, так и на химические свойства почвы. Проходившие на протяжении всего голоцена климатические колебания привели к смещению ландшафтных зон и изменению процессов почвообразования. Для исследуемой территории можно выделить два этапа потепления климата. Позднеатлантический этап (6200–4600 лет назад), относится к главному климатическому оптимуму голоцена (Изменения климата…, 1999). Второй термический максимум наблюдается в среднеголоценовое время и датируется около четырех тысяч лет назад. В целом климатические колебания проявлялись как в суббореальном так и субатлантическом периодах, при этом даже в относительно прохладном суббореальном периоде среднегодовые температуры были выше современных. Потепление климата на территории Смоленской области сопровождалось более активным распространением широколиственных и лесостепных фитоценозов и сопровождалось усилением гумусово-аккумулятивного процесса (Величкевич, 1995).

В настоящее время на западе и юге Смоленской области можно встретить ареалы распространяя дерново-подзолистых почв со вторым гумусовым горизонтом, образование которого является реликтом когда-то более теплого климата. На территории Смоленской области в Починковском, Монастырщинском и Рославльском районах такие почвы были обнаружены и исследованы еще в 70-х годах прошлого века Д.Ф. Маймусовым, по мнению которого второй гумусовый горизонт представляет собой реликт от сформированной в среднеголоценовое время (около четырех тысяч лет назад) дерново-карбонатной почвы (Маймусов, 1992). Сходные по морфологическому строению почвы со вторым гумусовым горизонтом были обнаружены и исследованы в Смоленском районе в окрестностях деревни Хохлово, которые размещаются северо-западнее ранее обнаруженных почв со вторым гумусовым горизонтам в Починковском районе.

По данным архивных материалов лесничества Смоленского района, в течение последних 100 лет в окрестностях деревни Хохлово располагались лесные угодья, представленные типичными хвойно-широколиственными лесами. Среди основных древесных пород отмечается липа мелколистная, ель европейская, клен остролистный, дуб черешчатый, береза бородавчатая и др.

Исследованные почвы не образуют сплошного покрова, а в зависимости от геолого-геоморфологической обстановки в сочетании с типичными дерново-подзолистыми и дерново-подзолистыми поверхностно глееватыми почвами имеют мозаичный характер распространения. Обследованный участок представляет собой пологоволнистую моренную равнину, перекрытую толщей лессовидного суглинка. Чаще всего небольшие ареалы почв со вторым гумусовым горизонтом приурочены к вогнутым склоновым поверхностям.

В профиле дерново-подзолистой почвы под современным гумусовым горизонтом на глубине от 18 до 32 см обнаруживается более темный, ближе к черному цвету горизонт с малой объемной плотностью и высокой порозностью.

Исследование химических свойств и сравнительный анализ двух гумусовых горизонтов (современного и реликтового) позволил выявить следующие особенности.

Реликтовый гумусовый горизонт отличается от выше расположенного современного меньшей кислотностью. Так актуальная кислотность второго гумусового горизонта составила 5.8, тогда как у современного гумусового горизонта, сформированного под пологом смешанного леса, этот показатель находится на уровне 5.4. Гидролитическая кислотность отличается более высокими значениями в современном гумусовом горизонте. Данные химических анализов указывают на то, что сумма оснований выше в реликтовом горизонте, где она составляет 14.4 мг-экв на 100 г почвы. В верхнем гумусовом горизонте этот показатель находится на уровне 10.3 мг-экв на 100 г почвы. Кроме того, в реликтовом горизонте выявлено более высокое содержание гумуса, которое составило 4.4%. У верхнего гумусового горизонта этот показатель находится на уровне 3.8%, что достаточно высоко для исследуемого региона.

Таким образом, сформированный в период климатического потепления гумусовый горизонт отличается лучшими химическими свойствами и плодородием.

ЛИТЕРАТУРА

1. Величкевич Ф.Ю. Плейстоценовые смены флоры Смоленской области. // Материалы научно-практической конференции «Природные ресурсы и экологические проблемы Смоленской области и смежных регионов». Смоленск, 1995. С. 49–50.
2. Изменение климата и ландшафтов за последние 65 миллионов лет (кайнозой: от палеоцена до голоцена) / Под ред. А.А. Величко. М.: ГЕОС, 1999. 260 с.
3. Маймусов Д.Ф. Почвы Смоленской области (генезис, состояние, управление плодородием): Монография. М.: Прометей. 1992. 288 с.

FEATURES OF THE FORMATION OF SOD-PODZOLIC SOILS WITH A SECOND HUMUS HORIZON ON THE TERRITORY OF THE SMOLENSK REGION

O.A. REVINA, A.G. REVIN

Key words: *Smolensk region, relic horizon, humus, chemical properties, climate change*

СТРУКТУРА И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЛЕСОВ САХАЛИНА КАК ОТРАЖЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНОГО ВЛИЯНИЯ КЛИМАТА И ПОЧВЫ

Р.Н. САБИРОВ

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Южно-Сахалинск

Ключевые слова: *климат, лесная растительность, остров Сахалин, почвы, широтная и высотная дифференциация лесов*

Остров Сахалин вытянут в субмеридиальном направлении почти на 1000 км, омывается водами теплого Японского и холодного Охотского морей, характеризуется сложным геологическим строением, горным рельефом и муссонным климатом. Особые природные условия обусловили формирование и развитие на острове весьма продуктивной таежной растительности, на основании широтной дифференциации которой проф. А.И. Толмачевым (1955) выделены 4 подзоны. Северную, равнинную часть Сахалина на песчаных и болотных почвах занимают светлохвойные леса из лиственницы Каяндера (*Larix cajanderi*), центральные районы его с горно-лесными подзолистыми почвами покрывают зеленомошные темнохвойные леса с доминированием ели аянской (*Picea ajanensis*), в южной трети острова на горно-лесных бурых почвах произрастают темнохвойные леса с преобладанием пихты сахалинской (*Abies sachalinensis*), а в юго-западной части размещаются темнохвойные леса с примесью широколиственных пород (*Quercus mongolica*, *Phellodendron sachalinense*, *Kalopanax septemlobus* и др.). Геоботанические рубежи довольно хорошо согласуются с почвенным (Ивлев, 1965) и климатическим районированием Сахалина (Земцова, 1968).

Безусловно, климатические условия в целом определяют состав, структуру и зональную дифференциацию лесной растительности. Однако, на самой северной оконечности Сахалина – полуострове Шмидта, включенном А.И. Толмачевым в подзону лиственничников, преобладают темнохвойные леса. Последние здесь произрастают на буро-таежных слабооподзоленных иллювиально-гумусовых почвах и занимают склоны и отроги Западного и Восточного хребтов, другие дренированные экотопы, а лиственничная формация в основном сосредоточена на торфяных болотных почвах Пиль-Диановской депрессии (Сабиров, 2019). Кроме этого, в подзоне лиственничных лесов, занимающих Северо-Сахалинскую низменность, на имеющихся здесь небольших горных склонах, холмах, увалах и других возвышенностях при соответствующих почвенно-гидрологических условиях успешно произрастают высокоствольные ельники или лиственнично-еловые насаждения.

В тоже время в подзоне темнохвойных лесов средней части Сахалина, на заболоченных равнинах и долинах крупных рек (Тымь, Поронай) и их основных притоках, развиваются лиственничники и их редины. Очевидным является также факт успешного произрастания коренных лиственничных лесов в южной части острова, преимущественно на сырых, заболоченных участках – на слабо дренированных экотопах с торфянистыми почвами Муравьевской и Сусунайской низменности, а также на побережьях лагун и озер. В определенное противоречие с существующей схемой геоботанического районирования острова входит также возникновение в подзоне темнохвойных лесов крупных массивов лиственничников, которые занимают устойчивые фитоценотические позиции в межгорной депрессии между Набильским и Центральными хребтами, где в основном представлены бедные гумусом сухие супесчаные подзолистые почвы (Сабиров, Сабирова, 1999).

В связи с расположением на большей части Сахалина горных систем и массивов, ясно выражена вертикальная дифференциация лесов, обусловленная неоднородностью теплообеспеченности на разных высотных уровнях и вариациями почвенных условий. На нижних и средних частях горных склонов на буро-таежных слабооподзоленных иллювиально-гумусовых почвах произрастают темнохвойные леса. Выше их, на кислых горно-лесных пропитанно-гумусных слабооподзоленных и неоподзоленных почвах, располагаются коренные каменноберезняки (*Betula ermanii*), вслед за которыми на торфянисто-глеевых и сухоторфянистых маломощных почвах развивается субальпийская растительность с доминированием кедрового стланика (*Pinus pumila*).

Особое влияние на структуру и распределение лесных формаций острова оказывает Охотское море, порой преобразуя местный климат до экстремальных значений и заметно снижая при этом высотно-поясные границы растительности. Вследствие этого на песчаных валах и террасах морского побережья широко представлены заросли кедрового стланика.

Таким образом, структура бореальной растительности Сахалина в целом довольно разнообразна, мозаична и обусловлена различными природными факторами. Климат Сахалина, характерный для циркумбореальной зоны с низкой теплообеспеченностью, играет определяющую роль в общей композиции и физиогномики лесной растительности острова. Наряду с этим, геоморфологические особенности Сахалина обусловливают высотную дифференциацию растительности и усложняют структуру лесного покрова. На фоне общей слабой зональной дифференциации лесов острова наиболее определяющим в его разнообразии и распределении выступают почвенно-гидрологические факторы.

Исследования выполнены в рамках реализации государственного задания ИМГиГ ДВО РАН по теме «Влияние природных факторов и хозяйственной деятельности на биоразнообразие и компоненты экосистем в условиях активных геодинамических зон Сахалина и Курильских островов» (государственная регистрация № 115012770156).

ЛИТЕРАТУРА

1. Земцова А.И. Климат Сахалина. Л.: Гидрометеоиздат, 1968. 200 с.
2. Ивлев А.М. Почвы Сахалина. М.: Наука, 1965. 116 с.
3. Сабиров Р.Н., Сабирова Н.Д. Лиственничные леса бассейнов рек Пурш-Пурш и Венгери // Наземные экосистемы острова Сахалина (современное состояние, природно-антропогенные изменения, охрана и рациональное использование природных ресурсов). Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 1999. С. 66–81.
4. Сабиров Р.Н. Особенности распределения лесов Северного Сахалина в зависимости от почвенных условий // Лесные почвы и функционирование лесных экосистем: Материалы VIII Всеросс. научн. конф. с междунар. участием. М.: ЦЭПЛ РАН, 2019. С. 298–300.
5. Толмачев А.И. Геоботаническое районирование острова Сахалина. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1955. 80 с.

STRUCTURE AND DISTRIBUTION OF SAKHALIN FORESTS AS A REFLECTION OF THE INTEGRAL INFLUENCE OF CLIMATE AND SOIL

R.N. SABIROV

Key words: *forest vegetation, latitudinal and high-altitude differentiation of forests, soils, climate, Sakhalin Island*

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА МЕДОСБОР СТЕПНОГО ПРИДОНЬЯ

И.Д. САМСОНОВА[1], В.Н. САТТАРОВ[2], А.Г. МАННАПОВ[3]

[1]Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, г. Санкт-Петербург
[2]Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы», г. Уфа
[3]Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва

Ключевые слова: *климатические условия, медосбор, метеорологические факторы, степное Придонье*

При изучении литературных источников отмечалось, что на процесс нектаровыделения, на время наступления, силу и продолжительность медосбора с указанных медоносов оказывает непосредственное влияние климатические условия, складывающиеся в период вегетации нектароносных растений, распространенных на определенной территории, а также обилие медоносной растительности, окружающей пасеку и продолжительность ее цветения (Кулиев, 1952; Копелькиевский, Бурмистров, 1965; Аветисян, 1975; Клименкова, 1981; Самсонова, 2007).

Нами были проведены наблюдения в 2005-2012 гг. и 2021 г на территории Ростовской области за динамикой медосбора во взаимосвязи с климатическими условиями (осадки, температура и влажность воздуха, направление и скорость ветра) и выполнен сравнительный анализ показателей медосбора. Полученные данные были использованы для составления климатических диаграмм с использованием метода Госсена-Вальтера. Географически черноземная степь Придонья отличается благоприятными почвенно-климатическими условиями для ведения пчеловодства и получения высопродуктивных медосборов (Самсонова, 2007а). Основной медоносной породой на землях лесного фонда и лесоагроландшафтов является робиния псевдоакация (*Robinia pseudoacacia*) (Самсонова, 2015), на сельскохозяйственных угодьях – подсолнечник (Самсонова, 2013). На изучаемой территории складывается робиниево-подсолнечниковый тип медосбора, а количество продуктивных медосборов при благоприятных погодных условиях в период сбора нектара доходит до пяти (Самсонова, 2017).

За годы наблюдений среднемесячная температура в течение пчеловодного сезона составила минимум в марте -0.8°С в ночные часы, при многолетней 0.3°С. Максимальные температуры наблюдались в июле – августе месяце и составили 41.0°С, при средней многолетней максимальной 41.5°С. Таким образом, температурный режим в годы исследований типичен для территории степного Придонья, что позволяет объективно оценивать результаты наших исследований.

Раньше, характерных для нашей местности сроков, начался вегетационный период в 2006, 2007, 2008, 2009 годах и среднемесячная температура воздуха в марте превысила норму соответственно на 2.50, на 4.20, на 5.50, на 2.30.

Обильное выпадение осадков наблюдалось в течение марта 2005, 2008, 2009 и 2021 года, их количество превысило норму в 2 раза. Засушливым характеризовался март 2007.

Положительно отразилось на времени возобновления весенней вегетации древесных и травянистых растений погодные условия, сложившиеся в апреле. Температурный режим в годы исследований соответствовал норме, с небольшими отклонениями от среднемесячной температуры, характерной для условий региона.

Отрицательно сказывается на росте и развитии растений аномальные годы с резкими отклонениями климатических показателей от среднемноголетних данных (Самсонова, 2012).

Апрель 2006, 2008, 2010, 2011, 2012 и 2021 годов был теплым, с незначительными колебаниями температуры. Преобладающая температура воздуха ночью 5-10°, днем 14-20°. В третьей декаде 2010 наблюдались заморозки интенсивностью -1- -4°, также как в 2007 ночная температура опускалась до -3°. Во второй половине апреля 2012 года наблюдалось интенсивное нарастание тепла, в конце апреля местами по области максимум достигал 30-32°С. В апреле 2008 года среднемесячные температуры воздуха превысили норму, днем составили 14-20°С. В утренние часы в первой половине месяца отмечались туманы, что положительно сказалось на процессе нектаровыдления ранневесенних медоносов. В мае преобладала прохладная погода, в середе наблюдались на поверхности почвы заморозки 0- -3°С. Сложившиеся погодные условия в 2008 году способствовали наступлению медосбора 20 мая, который составил минимально 22 кг и длился 6 дней.

Май 2005, 2007, 2012 годов отличался острозасушливым и характеризовался повышенным температурным режимом: 2007 -34-38°С, в 2005 – 30°С, в 2012 – 25-32°С.

В мае 2006 и 2010 годов наблюдалась неустойчивая погода. Температурный режим мая 2006 был близок к обычному, характеризовался осадками, но в начале месяца отмечались заморозки, их интенсивность в воздухе составила 0- -6°. В самый теплый период температура воздуха в мае 2006 года повышалась до 29-32.

По нашим наблюдениям в 2006 году во время цветения *Robinia pseudoacacia* установилась безветренная, ясная погода с температурой воздуха 24-31°С, что благоприятно отразилось на медосборе. Продуктивный медосбор в мае длился 8 дней с показаниями контрольного улья от 2.0 до 8.0 кг, за месяц и составил 38.5 кг. В конце месяца наблюдалось понижение температуры в дневные часы до 15°С, что привело к убыли в показаниях контрольного улья.

В первой декаде мая 2007 года количество осадков превысило норму на 17%, что способствовало благоприятному росту и развитию растений. 17 мая показания контрольных ульев начали расти и составили от 0.5 до 4.3 кг в день, валовый медосбор составил 36.8 кг. Цветение *Robinia pseudoacacia* так же, как и в 2012 году сопровождалось сухой и жаркой погодой. Дневная температура воздуха поднималась до 26-38°С и до 25-32°С соответственно. Многолетние наблюдения П.М. Комарова (1955) показали, что с повышением и понижение температуры интенсивность нектаровыделения ослабевала. При пониженной влажности воздуха и высокой температуре нектар становится более густым, т.е. высыхает, кристаллизуется и становится недоступным для пчел. Слишком высокие температуры не только высушивали нектар, но и полностью свертывали белковые вещества протоплазмы и этим оказывали отрицательное влияние на нектаровыделение.

Погодные условия в мае 2021 года напоминали метеорологические факторы этого месяца 2008 года. Температурный режим был близким к норме и составил в 2008 году 20.4°С, в 2021 году 18.1°С. Кратковременные дожди в июне 2008 г и ливни с градом в 2021 году, отмеченные с 9 по 25 мая способствовали понижению температуры воздуха, что безусловно отразилось на показаниях контрольного улья. Валовый медосбор в 2021 году составил 20 кг на семью. Обеспечивают медосбор в весеннее время сады и ягодники, а также лесные медоносы, образующие главный ярус и произрастающие в подлеске: каштан конский, жимолость татарская, акация желтая, боярышники, лох узколистный и серебристый, различные виды кленов. В период цветения робинии псевдоакации значимыми для медосбора являются гледичия трехколючковая и аморфа кустарниковая, у которой растянутый период цветения (14 дней), после отцветания робинии.

Май 2010 характеризовался неустойчивым характером погоды, относительно теплый с обильными осадками. В начале месяца максимальная температура воздуха повышалась до 31°С. В начале цветения *Robinia pseudoacacia* температура воздуха утром составляла 9-16°С, днем – повышалась до 21-28°С, наблюдались обильные регулярные осадки (100 мм – 217% от нормы), что повлияло на медосбор. Известно, что дожди вымывают нектар с нектарников. Показания контрольного улья варьировали от 0.4 до 4.5 кг. Период медосбора наблюдался с 14 мая. Продуктивный медосбор составил 9 дней с прибылью 3.3-4.5 кг, валовые показатели – 25.4 кг (24.3% от годового медосбора).

Продуктивный медосбор с робинии псевдоакации в мае 2012 года длился в течение 18 дней при благоприятных погодных условиях – ясно, тихо, температура в дневные часы 18-30°С, в утренние 15°С. 16 мая зацвела липа мелколистная. Перерывы в медосборе произошли с изменением метеорологических условий в конце месяца. Температура воздуха понизилась до 13-16°С и сопровождалась осадками. Валовый медосбор за май составил 35.5 кг.

Наши наблюдения за медосбором во время цветения липы мелколистной (*Tilia cordata*) согласуются с данными пчеловодов-практиков, которые считают, что смена прохладных ночей теплыми днями с дождями во второй половине дня раз в трое лучше для медосбора, чем стабильная температура в течение одних или нескольких суток (Селицкий, 1993).

В начале июня 2006 и 2007 отмечалась сухая жаркая погода, максимальные температуры воздуха достигали 30-34°С в отдельных районах до 39°С. Осадков выпало мало, в количестве 23 мм, при среднесуточной температуре воздуха 20.40С.

Начало июня, также, как и конец мая 2006 года, характеризовалось сильным медосбором (2.7-5.5 кг) в течение 6 дней. Перерывы в медосборе сопровождались изменениями погодных условий. Наблюдались осадки и понижение температуры днем до 16°С, утром до 13°С. В периоды неблагоприятных погодных условий медосбор отсутствовал или контрольный улей показывал убыль.

В июле 2006, в конце июня 2007 и 2010, в июне 2008, с 1 по 18 июня 2021 года ливневые дожди в отдельных районах сопровождались грозами, шквалами и градом и способствовало понижению температуры воздуха. Количество выпавших осадков превысило норму в 1.5-2 раза. Сложившиеся климатические условия повлияли на отсутствие прибыли в контрольных ульях. В период цветения липы мелколистной максимальные показания улья достигали 5.5 кг в начале месяца. За месяц валовый медосбор по годам составил соответственно 25.4 кг, 34.8 кг, 16.7 кг, 43.9 кг и 10.0 кг.

Июльский медосбор 2006 продлился с 10 по 31 и составил 72.5 кг со среднесуточным привесом улья 3.4 кг. Благоприятные условия для медосбора создавали температурный режим (24-33°С) в дневные часы и 12-15°С утром, слабый ветер, кратковременные дожди ночью и в вечерние часы.

В июле в среднем по области количество осадков составило 33 мм – 65% от нормы, что в свою очередь способствовало бурному росту дикорастущей медоносной флоры на луговых медоносных угодьях. Благоприятные погодные условия, сложившиеся во время цветения подсолнечника, также способствовали получению хорошего медосбора в июле – 34.3 кг с улья, с максимальным показанием улья 2.7-3.5 кг. В наиболее жаркий период – конец третьей декады июля и первая декада августа, с максимальной температурой 39-42°С, медосбор отсутствовал.

Начало лета 2008 по температурному режиму было близким к норме и с недобором осадков. Июль 2008, третья декада июля 2007 года отличались острозасушливыми и характеризовались повышенным температурным режимом. Максимальная температура в 2007 – 39-42°С, в 2008 – до 30-35°С, в конце второй декады в отдельных районах области

наблюдалась сильная жара до 40.5°С. В среднем по области количество осадков в июле 2007 составило 33 мм – 65% от нормы.

Лето 2010 года характеризовалось сухой и ветреной погодой. Продуктивный медосбор в июне отсутствовал. В течение июля 2010 влагонасыщенные западные циклоны обусловили неустойчивый характер погоды. В июле преобладала умеренно жаркая погода с колебаниями температуры в ночные часы от 10-15°С до 18-23°С, днем от 25-30°С до 30-35°С, что благоприятно сказалось на продуктивности медосбора. По нашим наблюдениям во время цветения лугового разнотравья (с донника) стояла ясная, безветренная погода с неравномерными различной интенсивности осадками, которые сопровождались усилением ветра 15-22 м/с. Продуктивный медосбор составил 11 дней, поддерживающий 15 дней (0.2-1.5 кг). Общий вес за месяц – 25.4 кг.

Полученные данные согласуются с наблюдениями В.В. Прогункова (2004): почвенно-климатические условия оказывают влияние на накопление углеводов в нектаре. Поясность, плодородие и влажность являются основными факторами для ксеромезофитов, плодородие, влажность и температура – для ксерофитов. Уменьшению количества углеводов в нектаре и увеличение содержания сахара в нектаре способствует повышение относительной влажности воздуха.

Во время цветения подсолнечника (в среднем с 16 июля) установилась сухая и жаркая погода. Максимум температур в августе достигал в 2006 – 38-43, в 2008 – 40, в 2010 – 40-42, в июле 2021 – 40. Пчелы продуктивно работали на подсолнечнике только в вечерние часы до захода солнца. Неблагоприятные погодные условия создали пожароопасную ситуацию, что отразилось на показаниях медосбора. При сложившихся аномально высоких дневных температурах медосбор в июле-августе 2010 года длился 17 дней. Прибыль контрольного улья в июле отмечено 44.0 кг, в августе – 6.1 кг. В 2021 году высокие температуры компенсировались выпадением большого количества осадков, которой составило 86.3 мм, что превысило норму на 149%. Валовый медосбор составил 40.0 кг.

Данные климатические условия и показания медосбора подтвердили исследования ученых, что позднелетний медонос, подсолнечник, в местных условиях реагирует на условия почвенного увлажнения и температуру воздуха. Мощный, высокорослый, с хорошо развитой корневой системой подсолнечник усиливает нектаровыделение с установлением ясной погоды с высокой (до 33°С) температурой воздуха и в этом случае обеспечивает хороший медосбор (Чащин, 1992).

Складывающаяся сухая и жаркая погода в августе 2008 и 2010, с превышением нормы температурного режима на 2.1°С и на 4-8°С соответственно, отразилась на незначительный медосбор, валовые показатели которого в 2008 составили 16.7 кг, в 2010 – 5.6 кг. В середине месяца температурный максимум достигал 40°С. Привес на медосборе с подсолнечника доходил до 2.6-3.4 кг.

Таким образом, за годы проведения исследований установлено максимальный валовый медосбор массой 164.0 кг и 137.0 кг в условиях степного Придонья наблюдался в 2006 и 2007 годах соответственно. Наиболее продуктивным отмечается июль 2006 с валовым медосбором 72.5 кг, что составляет 44.2% от общей массы меда, полученной за сезон. Высокие результаты медосбора сопровождаются благоприятными климатическими условиями: малооблачная и ясная погода в июле наблюдалась в течение 19 дней, среднесуточная температура воздуха составила 21.2°С, осадков выпало за период 52 мм.

Минимальные значения валового медосбора отмечены в мае и июне 2008 г (22.0 кг и 4.9 кг), в мае и июне 2021 (20.0 кг и 10.0 кг), в июле 2010 г (25.4 кг), в августе 2010 и 2012 г (5.6 кг и 6.1 кг). На отсутствие медосбора в наблюдаемые периоды оказали отрицательное воздействие

погодные условия. В мае 2008 г отмечены малооблачные дни со среднесуточной температурой воздуха 17.1°С, сопровождающихся большим количеством осадков – 74 мм.
Проанализированные климатические условия степного Придонья характеризуют особенности внешних факторов окружающей среды, складывающихся в период вегетации и оказывающие влияние на рост, развитие и нектаровыделение медоносных растений в частности, на показатели медосбора в целом на территории изучаемого района.
В пчеловодстве погодно-климатические условия имеют прямое и косвенное влияние на величину медосбора. Прямое – в данном сезоне на нектаровыделение и лет пчел, а косвенное – на создание запасов влаги в почве в последующем году, что ведет, начиная с весны, к накоплению пластических веществ в древесных и кустарниковых нектароносах и хорошему развитию травянистых нектароносов (Мегедь, 1980).
Изучения показаний медосбора во взаимосвязи с метеорологическими факторами важно с практической стороны. С помощью знаний, полученных в результате наблюдений за медосбором, можно будет прогнозировать получение товарной продукции пчеловодства и рационально использовать кормовую базы для пчелиных семей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Комаров П.М., Копелькиевский Г.В., Пономарева Е.Г., Таранов Г.Ф. Пчеловодство. М.: Госсельхозиздат, 1955. 700 с.
2. Мегедь А.Г. Прогнозирование и использование медосборов // Пчеловодство. №6. С. 16.
3. Прогунков В.В. Ресурсы медоносных растений юга Дальнего Востока: автореф. дис. … докт. биол. наук. Хабаровск, 2004. 44 с.
4. Самсонова И.Д., Добрынин Н.Д. Биоресурсный потенциал медоносных угодий на землях сельскохозяйственного назначения степного Придонья // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2013. № 7. С. 38–40.
5. Самсонова И.Д. Медопродуктивность растительных формаций на землях лесного фонда степного Придонья // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2017. № 4. С. 69–83.
6. Самсонова И.Д. Медосборные условия Ростовской области // Пчеловодство. 2007. № 3. С. 23–24.
7. Самсонова И.Д. Метеорологические условия и нектаровыделение // Пчеловодство. 2012. № 8. С. 26–28.
8. Самсонова И.Д. Оценка медоносных ресурсов на землях лесного фонда Ростовской области // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. № 1 (343). С. 45–53.
9. Самсонова И.Д. Условия, определяющие выделение нектара // Проблемы и перспективы развития лесомелиораций и лесного хозяйства в Южном федеральном округе. Новочеркасск: НГМА, 2011. С. 109–115.
10. Селицкий А.В. Всегда с медом // Пчеловодство. 1993. № 11-12. С. 16–19.

IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON THE MEDOSBOR IN STEPPE AREA OF THE RIVER DON

I.D. SAMSONOVA, V.N. SATTAROV, A.G. MANNAPOV

Key words: *Medosbor, climatic conditions, in steppe area of the river Don, meteorological factors*

СТАДИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОЧВ И РАСТИТЕЛЬНОСТИ СМОЛЕНСКОГО ПООЗЕРЬЯ ПОСЛЕ РАСПАШКИ: ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛЕВЫХ РАБОТ 2021 Г. НА ПРИМЕРЕ СОСНОВЫХ ЛЕСОВ

И.Н. СЕМЕНКОВ [1,2], Е.В. ТИХОНОВА[1], А.В. ТИТОВЕЦ[1], О.В. ШОПИНА[1,2], А.И. КУЗНЕЦОВА[1], А.П. ГЕРАСЬКИНА[1], В.Р. ХОХРЯКОВ [1,3], И.М. БАВШИН [1,3], Г.В. КЛИНК [1,4]

[1]Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов Российской академии наук, г. Москва
[2]Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва
[3]Федеральное государственное бюджетное учреждение
Национальный парк «Смоленское Поозерье», пос. Пржевальское
[4]Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича
Российской академии наук, г. Москва

Ключевые слова: *агрозем, залежь, подзол, постагрогенная почва, рудеральные виды, сосняк, сукцессия*

Убыль сельского населения, наиболее остро проявившаяся в Российском Нечерноземье с 20-х гг. XX в., сопровождалась многоэтапным забрасыванием земель с/х назначения и увеличением доли залесенных территорий. Сопряженный анализ агрогенных сукцессий растительности и онтогенеза постагрогенных почв принципиально важен для разработки эффективного управления постагрогенными экосистемами и понимания путей восстановления почвенного и растительного покровов лесных экосистем. В качестве модельной территории для таких исследований выбран национальный парк (НП) «Смоленское Поозерье», где возможен анализ постагрогенного восстановления сосняков с характерным временным интервалом до 100 лет. Цель настоящей работы – выделение стадий восстановления почв и растительности Смоленского Поозерья на месте сосновых боров, произраставших на альфегумусовых почвах. Сопряженные почвенные и геоботанические исследования проведены на 18 ключевых участках. По итогам предварительного анализа выделено 6 стадий:

1. **Современные агроценозы и двух-трехлетние залежи на агропочвах**. Почвы этой стадии с явными чертами современной распашки (характерный микрорельеф борозд распашки, небольшое количество свежего опада, ровная граница пахотного горизонта и резкий переход к нижележащему). Растительным сообществам на залежах свойственно высокое видовое разнообразие (более 40 видов на площадке 10×10 м) за счет низкой корневой конкуренции в первые годы после распашки на фоне достаточного запаса семян в почве и заноса диаспор с соседних лугов и опушки леса и сохранению в фитоценозе сегетальных видов. Преобладают злаки, из которых наиболее обильны пырей ползучий (*Elytrigia repens*) и виды рода полевица. Травостой средний по высоте и довольно плотный по проективному покрытию – 70% и более. Для агроценозов, напротив, характерен бедный видовой состав (менее 17 видов, включая основную культуру), что связано с механическим удалением растений и, предположительно, обработкой селективными гербицидами. Кроме основной культуры преобладают рудералы, не создавая при этом выраженного проективного покрытия (менее 10%).

2. **Залежные луга (5-10 лет) на серогумусовых постагрогенных очень слабо реградированных почвах**. На поверхности почв этой стадии при отсутствии пожаров имеется мощный и сплошной горизонт очеса. В верхней части старопахотного горизонта обосабливается корешковатый гумусово-слаборазвитый горизонт W, в нижней части наблюдается ровная граница и резкий переход к нижележащему. Луга на залежах

преимущественно низкотравные, суховатые и сухие, с проективным покрытием около 60% и средним видовым разнообразием (менее 30 видов). Задернение, как правило, выражено слабо. В травостое по количеству преобладают злаки, наиболее константными являются овсяница красная (*Festuca rubra*) и виды родов *Artemisia* и *Potentilla*. Почти на всех площадках встречаются короставник полевой (*Knautia arvensis*), щавель пирамидальный (*Rumex thyrsiflorus*), смолка обыкновенная (*Viscaria vulgaris*) и вероника дубравная (*Veronica chamaedrys*). В некоторых фитоценозах участвуют типичные для заброшенных пашен адвентивные и раннесукцессионные виды: мелколепестники, энотера красностебельная (*Oenothera rubricaulis*), иван-чай узколистный (*Chamaenerion angustifolium*), пырей ползучий (*Elytrigia repens*). Подрост сосны (реже березы и осины) отмечен на большинстве лугов.

3. **Молодые (до 30 лет) сосняки на серогумусовых постагрогенных слабо реградированных почвах**. Почвы этой стадии очень похожи на почвы предшествующей. Главное отличие заключается в обязательном наличии подстилки – горизонтов OL и OF. В верхней части старопахотного горизонта AYpa появляется существенное количество отмытых зерен первичных минералов (ОЗПМ), а переход к нижележащему горизонту может быть не таким резким. Древесный ярус высотой 10–17 м и диаметром 10–15 см сосновый с примесью березы, сомкнутость древостоя до 80%. Подрост и подлесок обычно выражен слабо. В наиболее молодых (10 лет) насаждениях травяной покров разнообразен и обилен, преобладают луговые виды. После смыкания древесного полога и ухудшения освещенности насаждения становятся практически мертвопокровными, но в них возобновляются многие виды деревьев и кустарников: ель, дуб, клен, рябина, лещина и др.

4. **Средневозрастные (50–70 лет) сосняки на серогумусовых постагрогенных реградированных почвах**. В почвах этой стадии отчетливо заметны и признаки былой распашки, и естественного восстановления профиля. В верхней части горизонта AYpa может появляться грубогумусовый малый горизонт ao, обязательно присутствует гумифицированная подстилка (горизонт OH) совместно с OL и OF. Относительно пахотного горизонта AYpa, как правило, светлее за счет обилия ОЗПМ, но сохраняет ровную нижнюю границу и характерный ясный переход к нижележащему горизонту. Древостой 70-летних насаждений 2-ярусный. Верхний подъярус высотой 20–23 м и диаметром 30–35 (до 50 см) сосновый с примесью березы, а нижний сформирован елью. В подросте участвуют дуб и ель. В травяном ярусе преобладает черника. Покрытие мохового покрова до 90%, доминирует *Pleurozium schreberi*. К сожалению, у нас нет данных по 30–50 летним послепахотным соснякам, превращающихся из мертвопокровных в чернично-зеленомошные, так как в НП их возрасту соответствует пик сельскохозяйственного освоения.

5. **Старовозрастные (70–120 лет) сосняки на серогумусовых оподзоленных изредка постпирогенных почвах**. В почвах этой стадии признаки былой распашки фиксируются лишь по большой мощности горизонта AY с относительно ровной границей и заметным переходом к нижележащему. Под горизонтами OL, OF, OH (подстилка) и AO может наблюдаться осветленный малый горизонт e или даже E. По составу древостоя насаждения этой стадии сходны с предшествующей. Сомкнутость полога снижается до 40–60% вследствие вывалов отдельных деревьев и формирования окон. Высота сосен 27–32 м, диаметр 35-50 (до 60) см. В подросте преобладает ель, в травяно-кустарничковом ярусе – черника, ландыш и вейник лесной (*Calamagrostis arundinacea*). Покрытие мохового яруса варьирует от 5 до 75%, доминирует *Pleurozium schreberi*. На некоторых соснах отмечены следы старой подсочки.

6. **Старовозрастные (70–120 лет) сосняки на (дерново-)подзолах преимущественно постпирогенных**. Почвы этой стадии не имеют (полностью восстановились) никаких признаков былой распашки. Под горизонтами подстилки OL, OF,

OH суммарной мощностью более 15 см располагается маломощный горизонт AO или AY, залегающий на горизонте E, сменяющемся BHF. Сосняки этой стадии имеют разреженный древесный ярус (сомкнутость 40–45%) высотой 26 м и диаметром 35–45 (до 65) см. Зачастую древостой разновозрастный, максимально измеренный возраст 180 лет. Старые сосны часто со следами подсочки. В подросте доминирует ель, но высокое постоянство имеют и другие виды деревьев (сосна, дуб, береза). В травяно-кустарничковом ярусе обычно преобладают черника, брусника и марьянник луговой (*Melampyrum pratense*). Моховой покров имеет проективное покрытие 80-90%, доминируют *Dicranum polysetum* и *Pleurozium schreberi*.

В растительности самые быстрые изменения происходят в первые 30 (50) лет восстановления леса, а в почвах наиболее разительные – через 30–70 лет после забрасывания пашни.

Исследование выполнено в рамках проекта РНФ № 21-74-20171.

STAGES OF POST-PLOWING RESTORATION OF SOILS AND VEGETATION IN THE SMOLENSK LAKELAND: PRELIMINARY RESULTS OF FIELD WORK AT PINE FORESTS IN 2021

I.N. SEMENKOV, E.V. TIKHONOVA, A.V. TITIVETZ, O.V. SHOPINA, A.I. KUZNETSOVA, A.P. GERASKINA, V.R. HOHRYAKOV, I.M. BAVSHIN, G.V. KLINK

Key words: *podzols, meadow, pine forest, ruderal species, reforestation*

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА БИОРАЗНООБРАЗИЕ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА

Л.Н. СЕРЕДА

Федеральный Исследовательский Центр «Кольский Научный Центр РАН», г. Апатиты

Ключевые слова: *Арктика, биоразнообразие, бореальные леса, техногенное загрязнение*

В настоящий момент освоение Арктики имеет важное геополитическое значение, как для РФ в целом, так и для Мурманской области, в частности (Доклад о человеческом…, 2016; Стратегия развития…, 2008), ключевую роль в котором играет лесная промышленность, обеспечивающая экологическую и продовольственную безопасность.

По данным государственного лесного реестра на 01.01.2017 г (Доклад о состоянии…, 2017), земли лесного фонда Мурманской области занимают 9455.4 тыс. га, из которых покрыты лесной растительностью лишь 5419.3 тыс. га (64.9% – защитное значение, 35.1% – эксплуатационные леса).

Важным критерием, определяющим промышленное и климаторегулирующее значения, является степень облесённости, определяющаяся отношением покрытой лесом площади к общей площади территории, и составляющая для лесов Мурманской области всего 37.4%, характеризующаяся долгим периодом роста древостоев и небогатым ассортиментом древесных пород. Помимо экстремальных условий, угнетающим фактором также является техногенная нагрузка, в частности медно-никелевого комбината ОАО «Комбинат Североникель», атмосферные осадки которого, несмотря на значительные снижения объемов выбросов со второй половины 1990-х гг., по-прежнему токсичны из-за присутствия в них диоксида серы и тяжёлых металлов (Kashulina, 2018).

В связи с вышесказанным, приоритетными являются задачи сохранения биоразнообразия лесов арктических территорий и создание алгоритма прогноза современных изменений устойчивости и продуктивности лесных культур для долгосрочного планирования хозяйственной деятельности региона в XXI веке.

Настоящая работа проводилась в Мончегорском районе Мурманской области. Объектами комплексных исследований служили представители пяти видов сосудистых растений различных – древесной (берёза пушистая – *Betula pubescens*), кустарничковой (вороника обоеполая – *Empetrum hermaphroditum*, черника – *Vaccinium myrtillus*, брусника – *Vaccinium vitis–idaea*), и травянистой (иван-чай узколистный – *Chamaenerion angustifolium*) – жизненных форм, естественно произрастающие на 7 экспериментальных площадках, расположенных в 2-30 км от одного из основных источников промышленного загрязнения Мурманской области – медно-никелевого комбината ОАО «Комбинат Североникель». Фенологические наблюдения проводились по методике И.Н. Бейдеман (1954). Для изучения морфологической изменчивости растений в условиях техногенной нагрузки (Zhirov, Kuzmin, 1995), определяли длину, ширину и площадь листовой пластины. Повреждения фотосинтетического аппарата оценивали по результатам спектрофотометрического анализа их пигментного состава (Wellburn, 1994). Природно-территориальные комплексы (ПТК) классифицировались по А.В. Дончевой (1975, 1978). Промышленное загрязнение оценивалось по накоплению никеля в открытых наполненных одинаковой почвой сосудах объемом 0.3 м^3 после трехмесячной экспозиции их на экспериментальных площадках. Концентрация никеля в почве определялась стандартным методом атомно-адсорбционной спектроскопии. Математическая обработка полученных данных проводилась с

использованием стандартных статистических программ. Во всех случаях применялся t-критерий и обсуждались только различия, достоверные при уровне значимости (p) < 0.05.
Показано пороговое значение концентрации никеля в почве. При более низких значениях морфофизиологические изменения на ранних стадиях у растений древесной жизненной формы отсутствовали, у растений кустарничковой формы были слабо выражены и явно выражены у травянистых растений. Последующее увеличение антропогенного воздействия приводило к локальному максимуму продолжительности вегетативного развития, и локальному минимуму сроков осеннего старения листьев.
Полученные результаты могут быть использованы при разработке новых методов оценки состояния северных лесов на ранних стадиях развития техногенных повреждений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бейдеман. И.Н. Методика фенологических наблюдений при геоботанических исследованиях. М.-Л.: Наука. 131с.
2. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Мурманской области в 2016 году. г. Мурманск, 2017. 180 с.
3. Доклад о человеческом развитии в Российской Федерации за 2016 год / под ред. С.Н. Бобылева и Л.М. Григорьева. М.: Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации, 2016. 298 с.
4. Дончева А.В. Воздействие горно-металлургического производства на природные территориальные комплексы: Автореф. дис. … канд. геогр. наук. М., 1975. 29 с.
5. Дончева А.В. Ландшафт в зоне воздействия промышленности. М.: Лесн. пром-ть, 1978. 98 с.
6. Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года (утв. Президентом РФ) 18 сентября 2008 г. N Пр-1969.
7. Kashulina G.M. Monitoring of soil contamination by heavy metals in the impact zone of copper-nickel smelter on the kola peninsula // Eurasian Soil Science. 2018. V. 51. No. 4. P. 467–478.
8. Wellburn A.R. The Spectral Determination of Chlorophylls a and b, as well as Total Carotenoids, Using Various Solvents with Spectrophotometers of Different Resolution // Journal of Plant Physiology. 1994. V.144. No. 3. P. 307–313.
9. Zhirov V.K., Kuzmin A.V. "Physiological age" and systematic status of the birch trees in technogenic-violated areas of Kola Peninsula: a possible basis for a new classification approach // Abstracts of YIth Int. IOPB Symposium. Tromso, 1995. P. 60.

THE IMPACT OF TECHNOGENIC POLLUTION ON THE BIODIVERSITY OF FOREST ECOSYSTEMS OF THE KOLA PENINSULA

L.N. SEREDA

Key words: *biodiversity, boreal forests, technogenic pollution, Arctic*

АНАЛИЗ ДЕСТРУКЦИИ ХВОИ В ПОДСТИЛКАХ РАЗЛИЧНЫХ МИКРОГРУПП НАПОЧВЕННОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ СОСНЯКА БРУСНИЧНОГО

А.Н. СОЛОДОВНИКОВ

Институт леса Карельского научного центра Российской академии наук,
ФИЦ "Карельский научный центр РАН", г. Петрозаводск

Ключевые слова: *деструкция хвои, напочвенная растительность*

Процесс деструкции хвои в лесной подстилке изучался в сосняке брусничном на территории Государственного природного заповедника «Кивач» в среднетаежной подзоне Республики Карелия. Тип леса – сосняк брусничный 190 лет, почва – подзол крупнопесчаный иллювиально-железистый на флювиогляциальных песках. На пробной площади выделялись микрогруппы преобладающей напочвенной растительности: зеленомошная, брусничная, лишайниковая и черничная. Разложение хвои проводилось методом закладки мешочков с хвоей (Berg, Ågren, 1984). Мешочки с хвоей закладывались вне проекции крон между OF и OH горизонтами подстилки, в каждой из микрогрупп напочвенной растительности. Проводилось три серии опыта с закладкой образцов в 2017, 2018, 2019 гг. Отборы образцов в каждой из микрогрупп напочвенной растительности проводились в пятикратной повторности. В первый после закладки образцов вегетационный период отборы проводились ежемесячно, в последующие годы опыта – в начале и в конце вегетационного периода. Три года измерений были контрастными по влажностно-температурным погодным условиям.

Потеря массы хвои по отношению к начальной за вегетационный период первого года опытов в среднем достигла 31.5±3.5%, за первый год составила 44.0±1.4%, за два года 58.9±6.5%. Эти данные довольно близко соответствуют результатам разложения хвои, полученным в шведском, французском и российском экспериментах (Berg, Ekbohm, 1991; Coûteaux et al., 1998; Германова и др., 2012).

В целом деструкция хвои в подстилках различных микрогрупп напочвенной растительности проходила достаточно равномерно. В течение двух лет каждого из трех опытов было зафиксировано только одно значимое различие в разложении хвои в подстилке лишайниковой микрогруппы растительности (28.6±1.1%), по сравнению с брусничной (33.6±1.7%) и черничной (32.0±1.3%) микрогруппами, что объясняется переувлажнением данной подстилки, имеющей наименьшую мощность и запас, на фоне высоких осадков. Отмечена повышенная деструкция хвои в брусничной микрогруппе после двух лет в двух опытах из трех, но различия с другими микрогруппами растительности значимы лишь в одном из них, что возможно является следствием локального распространения деструктивной микрофлоры и фауны в местах закладки опыта.

Анализ химического состава хвои показал, что отличия в разложении в различных микрогруппах происходит, как правило, за счет различий в разложении трудногидролизуемой фазы веществ в составе хвои.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Германова Н.И., Медведева М.В., Мамай А.В. Динамика разложения листового опада в среднетаежных насаждениях Карелии // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2012. № 1. С. 24–32.

2. Berg B., Ågren G.I. Decomposition of needle litter and its organic chemical components: theory and field experiments. Long-term decomposition in a Scots pine forest. III // Canadian Journal of Botany. 1984. V. 62. No. 12. P. 2880–2888.
3. Berg B., Ekbohm G. Litter mass-loss rates and decomposition patterns in some needle and leaf litter types. Long-term decomposition in a Scots pine forest. VII // Canadian Journal of Botany. V. 69. No. 7. P. 1449–1456.
4. Coûteaux M.M., McTiernan K.B., Berg B., Szuberla D., Dardenne P., Bottner P. Chemical composition and carbon mineralisation potential of Scots pine needles at different stages of decomposition // Soil Biology and Biochemistry. 1998. V. 30. No. 5. P. 583–595.

GROUND VEGETATION STRUCTURE EFFECT ON NEEDLE LITTER DECOMPOSITION IN A COWBERRY-TYPE PINE STAND

A.N. SOLODOVNIKOV

Key words: *needle decomposition, ground vegetation structure*

ЭКОЛОГО-ФИТОЦЕНОТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИСКУССТВЕННЫХ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ НА БИОЛОГИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ ПОЧВ

О. А. СОРОКИНА

Красноярский государственный аграрный университет, г. Красноярск

Ключевые слова: *биодендрогруппы, биологическая активность, воздействие, искусственные насаждения, освещённость, температура*

Сухостепные зоны республики Хакасия нуждаются в разработке биоэкологических основ и технологий, которые могут быть использованы для создания устойчивых защитных и лечебно-оздоровительных лесных насаждений на основе местных и интродуцированных растений. С этой целью в 1975-78 гг. на территории Ширинской опытно-экспериментальной базы Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН по специальной технологии были осуществлены поливидовые посадки искусственных лесных насаждений, организованных в биодендрогруппы (БДГ). Они состоят из древесных и кустарниковых растений, представленных в различных комбинациях, где эдификаторную функцию выполняет древесный вид, которому соподчиняются кустарниковые виды. Для исследований были выбраны десять биодендрогрупп различного видового состава. 1. Вяз, яблоня сибирская, барбарис, смородина двуиглая. 2. Вяз, сирень, клен, боярышник, крушина (жостер). 3. Барбарис, шиповник, яблоня, сирень, осина. 4. Осина, сирень, шиповник, таволга (спирея). 5. Облепиха, жимолость татарская, вяз, осина. 6. Черемуха виргинская, яблоня, жимолость татарская. 7. Сирень, рябина, береза, карагана (акация). 8. Сосна, черемуха виргинская, ива красная. 9. Боярышник, лиственница сибирская, сирень. 10. Тополь, яблоня, жимолость татарская. 11. Контрольный участок естественного фитоценоза Ширинской сухой степи, расположенный в непосредственной близости. Почвы на объектах исследования черноземы аккумулятивно-карбонатные с укороченным гумусовым горизонтом. Изучение абиотических факторов в БДГ проводилось ежемесячно в течение вегетационных периодов 2017-2019 гг. Температуру почвы в слое 0-10 см измеряли термометром Cnecktemp 1 by HANNA (C°) в 10 час, 15 час и 20 час, температуру приземного слоя воздуха определяли наружными термометрами в это же время. На всех объектах исследования измеряли освещенность (Лк). Образцы почвы для определения численности микромицетов отбирали в августе. Измерение общей численности почвенных микроорганизмов (КОЕ, тыс/г) осуществляли методом предельных разведений. Для учета бактериальной микрофлоры посев проводили на среде МПА, для численности микромицетов – на среде Сабуро. Углерод микробной биомассы (Cmic, мг/г почвы) определяли методом субстрат-индуцированного дыхания. Учитывали запасы формирующейся подстилки и надземной травянистой фитомассы.

Эколого-фитоценотическое воздействие БДГ через температуру приземного слоя воздуха и почвы непосредственно влияет на функциональную активность почвенных микроорганизмов. На контрольном целинном участке степного фитоценоза температура воздуха на 9-13°С выше, чем под искусственными лесными насаждениями. Особенно резкие отличия отмечаются в дневные часы (15 час) летних месяцев. Воздух закономерно меньше прогревается в тех искусственных насаждениях, где больше кустарниковых видов с развитой и густой кроной, например, жимолость татарская в биодендрогруппах 5, 6 и 9 (19.2-26.7°С). В вечерние часы температура воздуха в приземном слое разных объектов резко снижается и выравнивается. Такой перепад температуры связан с резкой континентальностью климата степной зоны Хакасии. Температура верхнего слоя почвы характеризуется не такой выраженной контрастностью, как температура воздуха приземного слоя. Меньше

прогревается почва под БДГ 5, 6, 9 и 10 (17.8-19.2°С), в которые входит жимолость татарская, сирень и другие виды, затеняющая поверхность почвы. На участке степного фитоценоза температура почвы в это же время составляет 23.1-25.7°С.

Плотность древостоя, густота и раскидистость крон древесных и кустарниковых растений напрямую влияет на освещенность в биодендрогруппах. Количество падающего света на участке естественного фитоценоза в несколько раз превышает этот показатель под искусственными насаждениями. В БДГ №8 эдификаторным видом является сосна обыкновенная, крона которой более разрежена и ажурна в сравнении с другими эдификаторными видами. Здесь зафиксировано наибольшее количество света по сравнению с другими БДГ. Освещенность под БДГ №9 наименьшая за счет соподчиненных видов хорошо облиственных, образующих плотные заросли, сильно затеняющие почву.

В почвах под лесными насаждениями установлено снижение доли бактерий по отношению к микроскопическим грибам. Наибольшая численность микромицетов зафиксирована в БДГ №8 и №9 с хвойными видами, формирующими наибольшие запасы подстилки и подкисляющие почву продуктами разложения опада. В почве контрольного участка запасы микробной биомассы заметно меньше, чем в почвах под насаждениями.

Максимальные запасы надземной травянистой фитомассы и стабильность ее структуры зафиксированы на контрольном участке естественного фитоценоза, в составе которого преобладают злаки. Под воздействием изменившихся экологических факторов (влажность, температура почвы, освещенность) изменился структурный состав травянистого покрова под насаждениями за счет появления и увеличения доли представителей лесного разнотравья. В среднем за три года наибольшее количество разнотравного компонента в травянистом покрове зафиксировано в БДГ№5, №6, №7. Свидетельством трансформации почв под искусственными насаждениями и приобретения ими «лесных признаков» может служить появление шляпочных грибов. Увеличение биологического разнообразия, связанного с изменением абиотических и биотических экологических факторов под воздействием искусственных лесных насаждений, свидетельствует об устойчивости и стабильности формирующихся биоценозов.

ECOLOGICAL AND PHYTOCENOTIC FACTORS OF THE IMPACT OF ARTIFICIAL FOREST PLANTS ON THE BIOLOGICAL ACTIVITY OF SOILS

O.A. SOROKINA

Key words: *Artificial plantations, biodendro groups, impact, temperature, biological activity*

ПИРОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПОДЗОЛОВ ИЛЛЮВИАЛЬНО-ЖЕЛЕЗИСТЫХ (СРЕДНЕЕ ТЕЧЕНИЕ ЕНИСЕЯ, КРАСНОЯРСКИЙ КРАЙ)

В.В. СТАРЦЕВ[1], Е.В. ЯКОВЛЕВА[1], Н.М. ГОРБАЧ[1], А.С. ПРОКУШКИН[2], А.А. ДЫМОВ[1]

[1]Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар
[2]Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН

Ключевые слова: *бореальные леса, ПАУ, пирогенный углерод, пожары*

Повторяющиеся лесные пожары являются непременным фактором существования и функционирования сосновых фитоценозов и являются естественноисторическим фактором их развития. В работах (Bird et al., 2015; Santin, Doerr, 2016) показано, что почвы накапливают значительные запасы пирогенного углерода (PyC), который может быть достаточно стабильным и играть важную роль в глобальном углеродном цикле. Сосняки лишайниковые и подзолы иллювиально-железистые, формирующиеся под ними, наиболее часто подвержены низовым пожарам (Фуряев, 1996; Dymov, Gabov, 2015), которые оказывают влияние на морфологические и физико-химические свойства почв, увеличивают вклад пирогенно-модифицированных компонентов в состав почвенного органического вещества (Dymov et al., 2021).

Целью настоящей работы является комплексная оценка влияния пирогенеза на свойства подзолов иллювиально-железистых в постпирогенных сосняках.

Нами была исследована хроносерия подзолов, формирующихся в сосняках лишайниковых в окрестностях Средне-Енисейского стационара Института Леса им. В.Н. Сукачева (Красноярский край), пройденных пожарами в разные годы: 1, 23, 45, 79 и121год назад. Основные химические параметры почв определены в Экоаналитической лаборатории Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Экстракцию водорастворимых органических веществ (ВОВ) проводили на анализаторе TOC-VCPN (Япония, Shimadzu). Содержание органического углерода и азота определяли на анализаторе EA-1110 (CarloErba). Определение содержания полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) осуществляли на жидкостном хроматографе «Люмахром».

Влияние лесных пожаров в первые годы на свойства подзолов иллювиально-железистых проявляется в уменьшении мощности и влажности органогенных горизонтов почвы. Выявлено, что пирогенные морфологические особенности прослеживаются в виде формирования специфических пирогенных горизонтов Qpyr и Epyr, обогащенных продуктами пирогенеза (углистые включения). Наличие частиц угля, которые сохраняются в течение длительного времени после пожара (до 121 года), было выявлено во всех исследованных постпирогенных почвах. Таким образом, верхние подзолистые (Epyr) горизонты могут быть резервуарами для накопления пирогенного углерода (PyC).

По химическим показателям в первые годы после пожара установлено уменьшение кислотности органогенных горизонтов почв, увеличение степени насыщенности основаниями, уменьшение содержания углерода и азота ВОВ. Выявлено увеличение содержания общего углерода (1.18-8.0%) и азота (0.06-0.21%) в горизонтах Epyr, обусловленное обогащением продуктами пирогенеза, их миграции и аккумуляции. Расчет запасов показал увеличение вклада пирогенного горизонта Epyr в общие запасы углерода от 17 до 29% и азота – от 11 до 16%.

Важной характеристикой пирогенной активности является содержание ПАУ. Лесные пожары признаны основным природным источником ПАУ (Campos et al., 2019). Исследованные

пирогенные горизонты Qpyr и Epyr характеризуются высоким содержанием ПАУ. Наибольшее содержание было обнаружено в почве первого года после пожара. В горизонтах этой почвы содержание ПАУ достигает 3180 нг/г или 2975 нг/г в пересчете на углерод, входящий в состав ПАУ. С возрастом, прошедшим после пожара наблюдалось естественное уменьшение массовой доли ПАУ. Выявлена достоверно значимая корреляция между содержанием ПАУ и количеством пожаров для горизонта Qpyr ($r=0.83$, $p<0.05$).

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РФФИ № 19-29-05111 мк - Механизмы пирогенной стабилизации углерода в почвах бореальных лесных и болотных экосистем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фуряев В.В. Роль пожаров в процессе лесообразования. Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 1996. 253 с.
2. Bird M.I., Wynn J.G., Saiz G., Wurster C.M., McBeath A. The Pyrogenic Carbon Cycle // Annual Review of Earth and Planetary Sciences. 2015. V. 43. P. 273–298.
3. Campos, Abrantes N., Pereira P., Micaelo A.C., Vale C., Keizer J.J. Forest fires as potential triggers for production and mobilization of polycyclic aromatic hydrocarbons to the terrestrial ecosystem // Land Degradation & Development. 2019. V. 30. P. 2360–2370.
4. Dymov A.A., Gabov D.N. Pyrogenic alterations of podzols at the north-east European part of Russia: morphology, carbon pools, PAH content // Geoderma. 2015. V. 241-242. P. 230–237.
5. Dymov A.A., Startsev V.V., Milanovsky E.Yu., Valdes-Korovkin I.A., Farkhodov Yu.R., Yudina A.V., Donnerhack O., Guggenberger G. Soils and soil organic matter transformations during the two years after a low-intensity surface fire (Subpolar Ural, Russia) // Geoderma. 2021. V. 404. P. 115278.
6. Santin C., Doerr S.H. Fire effects on soils: the human dimension // Philosophical Transactions of the Royal Society B. Biol Sci. 2016. V. 371(1696). P. 28–34.

PYROGENIC CHANGES OF ALBIC PODZOLS (MIDDLE COURSE OF THE YENISEI, KRASNOYARSK TERRITORY)

V.V. STARTSEV, E.V. YAKOVLEVA, N.M. GORBACH, A.S. PROKUSHKIN, A.A. DYMOV

Key words: *fires, pyrogenic carbon, PAHs, boreal forests*

БЮДЖЕТ УГЛЕРОДА ПОЧВ В ЛЕСАХ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

Е.А. СУРИНА, С.В.ГОРБУНОВА

Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства, г. Архангельск

Ключевые слова: *Архангельская область, бюджет углерода, ельники, изменение климата, почвы*

Известно, что ведущая роль в глобальных изменениях природной среды, принадлежит изменениям в круговороте углерода (в большом геологическом и малом биологическом). С этими процессами связаны биогеохимические циклы всех остальных химических элементов в биосфере. С изменением баланса углерода в большом круговороте связывают явление глобального потепления. В августе 2021 года вышел первый том Шестого оценочного доклада Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК). В нем приводится обновленная информация о физических основах наблюдаемого глобального изменения климата. В частности, подтверждается тот факт, что решающее воздействие на климат сегодня оказывают антропогенные выбросы в атмосферу парниковых газов, из-за которых средняя температура в последние десятилетие оказалась на 1.1°С выше, чем в конце 19-ого века (1850-1900 гг.). Последние пять лет были самыми жаркими за всю историю наблюдений, начиная с 1850 года. Если не произойдет немедленного, быстрого и масштабного сокращения антропогенных выбросов парниковых газов, удержать повышение средней температуры в пределах 1.5°С и даже 2°С невозможно. Более того, с высокой вероятностью рубеж в 1.5°С будет достигнут и превышен уже в ближайшие 20 лет. Скорость потепления варьируется в зависимости от региона. Температура над сушей повышается быстрее, чем в среднем по миру. Изменение климата отражается на режиме осадков, вызывая, с одной стороны, более обильные, ливневые дожди и связанные с ними наводнения, а с другой – более длительные периоды без дождей, и как следствие, сильные засухи.

Для понимания значения этих процессов необходима оценка участия лесов в поглощении CO_2, оценка продолжительности периода удержания лесными экосистемами органического углерода, то есть важно изучение бюджета углерода. Однако, требуется учитывать и роль разнообразных антропогенных факторов, дестабилизирующих потоки органического вещества.

Подход к оценке продуктивности и биосферной роли биогеоценозов с позиций изучения накопленного ими запаса органического вещества и его динамики приводит еще к одному нетрадиционному выводу – экологические последствия рубки спелых лесов и вовлечение древесины в хозяйственный оборот в целом положительны при условии полноценного восстановления лесов. Лесовосстановление – временная мера. Вместе с тем самая быстрая, в последующее несколько десятилетий, по мере роста молодого леса.

Из-за усыхания роль лесов, как поглотителя углекислого газа и выделителя кислорода, снижается. Помимо экстремальных климатических явлений, усыханию еловых лесов в Архангельской области (которые занимают более 50% площади, занятой лесной растительностью) способствуют изменения в почве, происходящие за время развития ельника. Подзолообразование в лесах Архангельской области – это неизбежный процесс формирования почвы в условиях прохладного и влажного климата. В исследуемых еловых древостоях формируются подзолистые профили (сподсоли), с мощным горизонтом А2. Они способствуют образованию кислой почвы с низким содержанием кальция и других оснований. В результате подзолообразовательного процесса, проявляющегося в

формировании мощного горизонта А2 в черничном свежем типе леса (данный тип леса преобладает в таёжных лесах Архангельской области), отмечается образование водоупорного иллювиального горизонта, который препятствует поднятию капиллярных вод из нижних почвенных горизонтов. Крайнее выщелачивание, характерное для формирования сподсоли, приводит к тому, что окислы железа, алюминия и лигнины из опада хвои крепко цементируют горизонт В, в результате образуется почвенная линза, которая не пропускает ни воду, ни воздух, тем самым лишая находящиеся внизу корни деревьев влаги и питательных веществ. В таких условиях слой почвы, доступный для растительности над слоем линзы, маломощный, а степень поступления питательных веществ к растениям очень низкая. Этот факт, в сочетании с дефицитом осадков и высокими температурами воздуха в отдельные периоды вегетации, приводит к пересыханию поверхностного корнеобитаемого слоя, которое тем сильнее, чем ниже уровень грунтовых вод. В засушливые периоды на таких участках деревья гибнут от ее недостатка.

Известно, что поглощение CO_2 и выделение O_2 в процессе фотосинтеза адекватно приросту наземной фитомассы. Сезонный прирост органической массы древесины, как чистая продукция экосистемы, механически вмещает в себя все разнообразные процессы, определяющие синтез органики (интенсивность фотосинтеза) и интегрально отражает их результирующую роль. Расчеты по общепринятой методике показали, что бюджет углерода почв в лесах Архангельской области составил 632 тыс. С/год.

Публикация подготовлена по результатам исследований, выполненных в рамках государственного задания ФБУ «СевНИИЛХ» на проведение прикладных научных исследований. Регистрационный номер темы: АААА-А 20-120013090061-7

SOIL CARBON BUDGET IN THE FORESTS OF THE ARKHANGELSK REGION

E.A. SURINA, S.V. GORBUNOVA

Key words: *climate change, soils, spruce forests, carbon budget, Arkhangelsk region*

ОЦЕНКА ОТКЛИКА ДЫХАНИЯ ПОЧВЫ НА ПОТЕПЛЕНИЕ КЛИМАТА С ПОМОЩЬЮ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ МОДЕЛИ T&P НА ПРИМЕРЕ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛОВ ЮЖНОЙ ТАЙГИ

О.Э. СУХОВЕЕВА[1], Д.В. КАРЕЛИН[1,2], А.С. КУМАНЯЕВ[2]

[1]Институт географии Российской академии наук, г. Москва
[2]Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов Российской академии наук, г. Москва

Ключевые слова: *Stagnic Albic Podzol, изменение климата, обратное моделирование, эмиссия* CO_2

T&P (Temperature and precipitations) – климатообусловленная регрессионная модель с двумя переменными – среднемесячной температурой воздуха и количеством осадков за месяц, оценивающая дыхание почвы (Raich et al., 2002). Недостатком модели является то, что она не учитывает влияние растительности, почвенного покрова, водного режима и других особенностей биоценозов. Ее параметризация позволит решить эту проблему, т.к. отклик на изменения внешних условий в экосистемах одной природной зоны будет различным. Суть исследования заключается в решении обратной задачи моделирования, когда по данным измерений почвенного дыхания будут скорректированы константы модели. Первая подобная настройка была выполнена для дерново-подзолистых почв под смешанными лесами Московской области (Курганова и др., 2019).

Цель работы состояла в параметризации модели T&P для южнотаежной зоны и расчете на ее основе отклика дыхания почвы на климатические изменения.

Материалы и методы. Объектом исследования послужил полигон «Лог таежный» Валдайского филиала Государственного гидрологического института (Новгородская обл.). Почва на участке − дерново-подзол контактно-осветленный, Stagnic Albic Podzol (Arenic, Ruptic). Измерения проводились в теплые сезоны 2014-2020 гг. портативными инфракрасными газоанализаторами AZ 7752 методом закрытых камер на трансекте из 50 постоянных точек.

Растительный покров представлен перестойным еловым лесом, в котором было выделено три типа биоценозов: лес со здоровым древостоем (31 точка), участки с распадом древостоя (вывалы, 16 точек), верховые болота (3 точки). Для каждой точки было получено 34 среднемесячных значения дыхания почвы, из которых 31 использовалось для обратного моделирования (2014-2019 гг.) и 3 для проверки на независимом материале (2020 г.).

Были параметризированы константы модели: R0 – дыхание почвы при 0°C в отсутствие ограничения по увлажнению, г C $м^{-2}$ $сут^{-1}$; Q – экспоненциальная зависимость дыхания почвы от температуры, °C-1; K – константа полунасыщения гиперболической зависимости дыхания почвы от количества осадков за месяц, см. Оптимизация осуществлялась через пакет анализа «Поиск решения» в Excel.

Для оценки эффективности внесенных в модель изменений применялся комплекс из нескольких коэффициентов: эффективности Нэша-Сатклиффа NS, несоответствия Тейла T, корреляции Пирсона R, детерминации R2. Дополнительно применялась проверка на независимом материале путем расчета относительной ошибки.

Использовались метеорологические данные станции Валдай за 2014-2020 гг. (для параметризации модели) и 2009-2020 гг. (для расчета тренда температуры).

Результаты и обсуждение. По результатам полевых измерений потоки CO_2 из почвы в атмосферу составляют в лесу 2.745±1.862, на вывалах 3.177±2.116, на болоте 2.114±1.729 г C $м^{-2}$ $сут^{-1}$. Исходная версия модели существенно занижает величину дыхания почвы 1.576±0.582

г С $м^{-2}$ $сут^{-1}$, тогда как после параметризации она его незначительно завышает: лес 3.109±1.653, вывал 3.734 ± 2.132, болото 2.256±1.035 г С $м^{-2}$ $сут^{-1}$.

Наибольшие изменения коснулись коэффициента зависимости дыхания от температуры (Q = 0.05452) – он был увеличен в 1.5-2.1 раза: для леса 0.10249, для вывала 0.11494, для болота 0.08025. Это отражает интенсивность почвенных процессов и говорит о преимущественном влияние температуры воздуха на эмиссию CO_2 из почвы в зоне южной тайги. Значения коэффициента дыхания при 0°C были немного выше исходного (R0 = 1.250): для леса 1.25328, для вывала 1.25425, для болота 1.25176. Интересно отметить, что при избыточном увлажнении в Новгородской области константа зависимости от осадков (K = 4.259) была изменена незначительно: для леса 4.25867, для вывала 4.25859, для болота 4.25883.

Согласно статистическим критериям, параметризация T&P для экосистем южнотаежной зоны была выполнена весьма успешно: NS > 0, T < 0.30, R = 0.446-0.721 ($p < 0.01$). Скорректированная модель описывает 20% дисперсии дыхания дерново-подзолов на болотах, 52% на вывалах и 51% в хвойном лесу. Величины относительных ошибок при проверке на независимом материале колеблются от 11.4% для леса и 23.6% для вывала до 66.1% для болота. Значения ошибок обратно пропорциональны объему выборки для каждого типа биоценозов, а также связаны с месячным временным шагом модели, когда из-за осреднения погрешности возрастают.

T&P может быть применена для оценки реакции почвенного дыхания, как компонента углеродного цикла и источника парниковых газов для атмосферы, на климатические изменения. Рассчитанный тренд среднегодовой температуры воздуха составляет 1.11°C / 10 лет при средней многолетней 5.4 ± 0.7°C, т.е. 20%. Скорректированная версия модели позволяет сделать прогноз, согласно которому при таком повышении температуры воздуха дыхание почвы усилится на 32.0% в лесу, на 37.8% на вывалах и на 22.7% на болоте за 10 лет.

Выводы. Методом обратного моделирования T&P была успешно параметризирована для дерново-подзолов южной тайги Новгородской области. Скорректированные версии модели показали отличную сходимость с результатами измерений. Коэффициент зависимости дыхания почвы от температуры был увеличен в 1.5-2.1 раза, тогда как коэффициент влияния увлажнения был изменен в незначительной степени. При сохранении современного тренда повышения температуры воздуха дыхание почвы усилится на 22.7-37.8% за 10 лет.

Работа выполнена в рамках гранта РНФ № 20-76-00023 (параметризация модели), а также госзадания Института географии РАН № 0148-2019-0007 (полевые измерения).

ЛИТЕРАТУРА

1. Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Мякшина Т.Н., Сапронов Д.В., Ромашкин И.В., Жмурин В.А., Кудеяров В.Н. Натурная и модельная оценки дыхания лесной дерново-подзолистой почвы в Приокско-Террасном биосферном заповеднике // Лесоведение. 2019. № 5. С. 435–448. DOI: 10.1134/S002411481905005X
2. Raich J.W., Potter C.S., Bhagawati D. Interannual variability in global soil respiration, 1980-94 // Global Change Biology. 2002. V. 8. No. 8. P. 800–812. DOI: 1046/j.1365-2486.2002.00511.x

ESTIMATION OF SOIL RESPIRATION RESPONSE TO CLIMATE WARMING BY PARAMETRIZATION OF THE T&P MODEL BY THE EXAMPLE OF SOD-PODZOLS IN SOUTHERN TAIGA

O.E. SUKHOVEEVA, D.V. KARELIN, A.S. KUMANYAEV

Key words: *climate change, inverse modelling, CO2 emissions, Stagnic Albic Podzol*

КОРНЕВЫЕ ВЫДЕЛЕНИЯ НЕ ОКАЗЫВАЮТ ВЛИЯНИЕ НА СТРУКТУРУ НАСЕЛЕНИЯ КОЛЛЕМБОЛ В БОРЕАЛЬНОМ ЛЕСУ

А.А. ТАСКАЕВА, А.А. КУДРИН

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар

Ключевые слова: *кольцевание деревьев, ногохвостки, подрезка эрикоидов, полевой эксперимент*

Взаимодействие между надземной и подземной биотой является фундаментальной задачей в решении ряда вопросов, касающихся экосистемных функций и свойств почвы (Bardgett, Wardle, 2010). Одним из методов, оценивающих такое взаимодействие, является «опоясывание» деревьев. Суть метода заключается в удалении части коры и флоэмы вокруг ствола дерева, что в значительной мере прерывает поток ризодипозитов из корней в почву (Hogberg et al., 2001). Применение данного метода показало определенную важность направляемых в почву ресурсов корнями крон деревьев для нематод, имеющих разные трофические группы (Kudrin et al., 2021), протур, а также поддержание структуры комплекса коллембол и орибатид в бореальных лесах (Malmström, Persson, 2011).

Цель нашей работы состояла в оценке влияния корневых выделений деревьев ели и эрикоидной растительности на разнообразие, состав и численность сообществ ногохвосток. В полевом эксперименте в еловом лесу было проведено кольцевание деревьев ели (tree girdling) и выстригание эрикоидной растительности для манипуляций с корневыми выделениями. В мае 2016 г было заложено шесть экспериментальных площадок (10×10 м), каждая разделена на 4 части (варианты воздействия): «опоясывание» деревьев (G), обрезка кустарничков (E), «кольцевание деревьев» + обрезка эрикоидов (G x E) и без опоясывания и обрезки (C, контроль). На каждой площадке было отобрано по 3 пробы (10x10x5 см). Состав и численность коллембол оценивали на 120 и 430 сутки эксперимента.

В результате исследований зарегистрировано 37 видов ногохвосток, из которых 27 обнаружено на площадках с «опоясыванием деревьев» (G), по 31 виду – на площадках, где была произведена подрезка эрикоидов (E) и совместное их манипулирование (G x E) и 28 видов в контроле (C). Численность коллембол на площадках с разными вариантами эксперимента существенно не различалась и составила на участках G, E, G x E и C – 20.3±3.9, 16.7±4.1, 17.9±3.2, 19.5±3.4, соответственно. Период отбора образцов (через 120 и 430 дней после начала эксперимента) не повлиял ни на видовое богатство ($F=1.88$ при $p=0.177$), ни на численность ($F=2.54$ при $p=0.119$) коллембол, но оказался значимым для их разнообразия ($F=9.27$ при $p<0.044$), что указывает на то, что эффект экспериментальных манипуляций минимально зависел от времени. Структура населения коллембол после обработки G незначительно отличалась от контроля (R для ANOSIM 0.10, $p=0.05$) и оказалась схожей с таковой площадок E (R для ANOSIM 0.003, $p=0.39$) и G x E (R для ANOSIM 0.004, $p=0.80$). Опоясывающий эффект был в основном связан со значительным снижением численности видов *Xenyllodes armatus*, *Folsomia quadrioculata* и увеличением *Parisotoma notabilis*. Структура населения ногохвосток после обрезки мелких кустарничков не изменилась.

Таким образом, корневые выделения не оказывают влияние на структурные показатели сообществ ногохвосток, что согласуется с ранее полученными данными (Malmström, Persson, 2011). Однако изменения могут происходить на функциональном уровне, что требует дальнейших исследований.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института (№ Гр РК АААА-А17-117112850235-2) и гранта РФФИ (16-34-00167 мол_а).

ЛИТЕРАТУРА

1. Bardgett R.D., Wardle D.A. Aboveground – Belowground Linkages. 2010. Oxford University Press, United Kingdom.
2. Högberg P., Nordgren A., Buchmann N., Taylor A.F.S., Ekblad A., Högberg M.N., Nyberg G., Ottosson-Lofvenius M., Read D.J. Large-scale forest girdling shows that current photosynthesis drives soil respiration // Nature. 2001. V. 411. P. 789–792.
3. Kudrin A.A., Zuev A.G., Taskaeva A.A., Konakova T.N., Kolesnikova A.A., Gruzdev I.V., Gabov D.N., Yakovleva E.V., Tiunov A.V. Spruce girdling decreases abundance of fungivorous soil nematodes in a boreal forest suggesting feeding on ectomycorrhizal mycelium // Soil Biiodiversity and Biochemistry. 2021. V. 155. DOI:10.1016/j.soilbio.2021.108184
4. Malmström A., Persson T. Responses of Collembola and Protura to tree girdling—some support for ectomycorrhizal feeding // Soil Organisms. 2011. V. 83. P. 279–285.

ROOT EXUDATES DO NOT AFFECT THE STRUCTURE OF THE COLLEMBOLA POPULATION IN THE BOREAL FOREST

A.A. TASKAEVA, A.A. KUDRIN

Key words: *field experiment, spruce girding, dwarf shrubs clipping, springtails*

ДИНАМИКА ЛЕСНЫХ СООБЩЕСТВ НА ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРО-ВОСТОКА ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ В ГОЛОЦЕНЕ

А.В. ФИЛИМОНОВА[1], Л.Н. ШИХОВА[1], О.Е. КОНОНОВА[2]

[1]Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого, г. Киров
[2]ФГБОУ ВО Вятский ГАТУ, г. Киров

Ключевые слова: *голоцен, изменение климата, палеопалинология, реликтовые почвы*

Как известно, европейская часть территории России в голоцене испытывала довольно резкие и часты климатические колебания (Величко, 2009). Изменения климата, наряду с другими факторами, приводили к изменениям растительности, почв и природных комплексов в целом. Существует примерная схема смены климатической ситуации и растительности на территории европейской России в эпоху голоцена (Хотинский, 1977). Она основывается на палеопалинологических данных, полученных при изучении геологических шурфов и почвенных разрезов. Однако на северо-востоке европейской части России таких исследований недостаточно. Они необходимы для уточнения истории развития данной территории в голоцене. Подобные исследования важны и с точки зрения прогнозирования изменения климата и природных комплексов при глобальном потеплении в современную эпоху.

Объектами исследования являются дерново-подзолистые почвы со вторым гумусовым горизонтом и торфяные почвы, находящиеся на территории Кумёнского района Кировской области. На данной территории располагается самый северный ареал распространения почв с реликтовым гумусовым горизонтом на территории Русской равнины. Второй гумусовый горизонт является остатком более мощных гумусовых горизонтов чернозёмовидных голоценовых почв. Предположительно они формировались под лесной и лесостепной растительностью в атлантический оптимум голоцена. На незначительном удалении от этих почв находится торфяной массив «Бурмакинский». Верхние части торфяной толщи срезаны при добыче, однако сохранились участки с практически нетронутой торфяной толщей, что позволяет по слоям проследить историю формирования торфяного массива. В пробах, отобранных из данных почв и торфов, изучали пыльцу и споры растений. Пыльцевые спектры в почвах изучали с помощью сепарационной методики В. П. Гричука, в торфах – спорово-пыльцевым методом Поста (Рудая, 2010).

Почвы со вторым гумусовым горизонтом данного региона в настоящее время практически исчезли. Зональный подзолистый процесс привёл к «размыванию» мощных голоценовых гумусовых горизонтов. Второй гумусовый горизонт фрагментарный, представляет собой тёмные размытые пятна, прослойки на стенке почвенного разреза, залегающие под подзолистым горизонтом или в его нижней части. Глубина его залегания – примерно до 20-30 см, мощность – около 10 см.

Видовой состав палиноморф верхних горизонтов (подстилки и горизонта A0A1) дерново-подзолистых почв соответствует современному составу фитоценозов южнотаёжной подзоны, сформировавшихся в умеренном климате. Спорово-пыльцевой спектр фрагментов реликтового горизонта A2Ah резко отличается от такового в верхних горизонтах. В нем преобладает пыльца широколиственных пород: липа крупнолистная (*Tilia platyphyllos*), клен полевой (*Acer campestre*), дуб пушистый (*Quercus spubescens*), бук лесной (*Fagus sylvatica*); обнаружено множество пыльцевых зерен представителей семейства маревые. Присутствуют пыльцевые зерна кирказона ломоносовидного (*Aristolochia clematitis*), барвинка травянистого (*Vinca herbacea*), копытня европейского (*Asarum europaeum*),

ястребинки (*Hieracium* spp.), адоксы мускусной (*Adoxa moschatellina*), вороньего глаза четырехлистного (*Paris quadrifolia*), луговика извилистого (*Avenella flexuosa*), пузырника (*Colutea arborescens*). Встречается пыльца кустарников: крушина ломкая (*Frangula alnus*), облепиха крушиновидная (*Hippophaer hamnoides*), бузина черная (*Sambucus nigra*) (Shikhova, Filimonova, 2021). В настоящее время естественный ареал большинства данных видов включает в себя лесостепную и степную полосы Европейской России, Крым, Кавказ, а в таёжной лесной зоне они не встречаются.

Результаты изучения торфяной толщи позволяют дополнить историю развития данного района в голоцене. В слоях торфа сформировавшихся ориентировочно в атлантическом периоде голоцена, наряду с пыльцой ели европейской (*Picea abies*), лиственницы сибирской и пихты европейской (*Abies alba*), обнаружена пыльца теплолюбивых древесных пород, очевидно занесённая с окружающих болото территорий: тиса ягодного (*Taxus baccata*), ясеня обыкновенного (*Fraxinus excelsior*), сосны горной (*Pinus mugo),* граба обыкновенный (*Carpinus betulus*)).

Таким образом, в наиболее тёплый период голоцена изучаемая территория входила в зону широколиственных лесов. В древостое на водоразделах доминировала липа крупнолистная с примесью дуба, клена полевого, бука лесного. На отрогах Вятских Увалов, вероятно, произрастал дуб пушистый. В подлеске встречалась бузина черная, крушина ломкая и облепиха крушиновидная. Травяный покров был представлен злаковым разнотравьем, видами семейства лилейные. По опушкам лесов произрастали барвинок травянистый, кирказон ломоносовидный, адокса мускусная, асфоделина и другие лесостепные и степные виды. В понижениях рельефа, на сопредельных болотах достаточно влажных территориях развивались разреженные елово-пихтовые леса с примесью тиса и граба. Полученные результаты позволят уточнить историю развития территории северо-востока европейской России в голоцене.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № 0528-2019-0093).

ЛИТЕРАТУРА

1. Палеоклиматы и палеоландшафты внетропического климата Северного полушария. Поздний плейстоцен – голоцен. Атлас – монография. Под ред. профессора А.А. Величко. Москва, 2009. 120 с.
2. Рудая Н.А. Палинологический анализ: Учеб.-метод. пособие / Новосиб. гос. ун-т, Ин-т археол. и этногр. СО РАН. Новосибирск, 2010. 48 с.
3. Хотинский Н.А. Голоцен Северной Евразии. Монография. М.: Наука, 1977. 200 с.
4. Shikhova L.N., Filimonova A.V. Paleopalinological survey of soils of the European north-east of Russia having complex organic profile. В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall. Krasnoyarsk, Russian Federation, 2021. P. 52017.

DYNAMICS OF FOREST COMMUNITIES ON TERRITORY OF NORTH-EAST OF EUROPEAN RUSSIA AT HOLOCENE

A.V. FILIMONOVA, L.N. SHIKHOVA, O.E. KONONOVA

Key words: *Holocene, relict soils, paleopollinology, climate change*

ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ РАЗВИТИЕ БИОТЫ И ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА В СВЯЗИ С ГЛОБАЛЬНЫМ ПОТЕПЛЕНИЕМ (НА ПРИМЕРЕ БАССЕЙНА НИЖНЕГО ТОБОЛА)

Е.К. ХАЙДАРОВ, А.А. КАШИН

Удмуртский государственный университет, г. Ижевск

Ключевые слова: *возможные сценарии развития событий, глобальное потепление, группы факторов формирования биоты*

К группам факторам, определяющим развитие биоты и почвенного покрова, относятся гидролого-климатические, неровности рельефа и космические. Данные группы взаимосвязаны между собой. Под биотой понимается исторически сложившиеся живое вещество любой территории. К ней относят растительный и животный миры. А биокосным веществом, состоящим из органоминеральных частиц, а также перерабатывающих бактерий редуцентов называют почвой (Селиверстов, 2004).

Территория бассейна Нижнего Тобола располагается в двух физико-географических регионах – Уральском горном в западной части территории и Западно-Сибирском равнинном на востоке. Площадь территории составляет 175860 км^2, при этом длина нижнего течения Тобола (устье Туры – Иртыш) составляет 255 км (Лёзин, 1999). Водоразделами бассейна являются хребты – Поясовый Камень Северного Урала и Уральский Среднего Урала на западе. В северной части рассматриваемой территории водораздел проходит по Кондинской низменности с одноимёнными болотными массивами, восточная граница – Тобол-Вагайскому междуречью. В южной части бассейна водораздел проходит по самой высокой части Туринской наклонной равнине – Пышминско-Исетскому водоразделу (Национальный атлас, 2012).

К космическим факторам относят разные одноимённые объекты (астероиды, кометы метеоры и другие), которые могут влиять на территорию в зависимости от размеров и силы удара. На рассматриваемой территории крупных космических тел не наблюдалось. Также к данным факторам относят угол падения солнечных лучей на земную поверхность, рассчитываемый как разность прямого угла (90°) к широте места в дни равноденствия (21 марта и 23 сентября), но в остальные части года либо прибавляют для лета, либо вычитают для зимы Тропики (±23,5°). Для территории бассейна Нижнего Тобола углы падения солнечных лучей с севера на юг составляют 28°…34° в дни равноденствия, 4,5°…10,5° в зимнее время и 51,5°…57,5° в тёплую часть года (Селиверстов, 2004).

Для неровностей рельефа характерны следующие факторы. В первую очередь это палеонтологические осадки, определяющие состав пород и геолого-геоморфологическую историю территории (Селиверстов, 2004). На исследуемой территории прослеживаются наибольшие мощности осадков четвертичной в северной части и палеогеновой систем в южной. В палеогеновой системе субстратом для ландшафтов являются пески с песчаниками, глины, опоки и трепела, а антропогенной – пески, галечники, глины и торфы речного, озёрного и водноледникового генезисов (Попов, 1949; Атлас Свердловской области, 1997). Экспозицию рельефа тоже относят к факторам неровностей, то есть куда смотрит склон, такой экспозицией и является. Обычно экспозицию определяют по долинам рек, большая часть которых течёт на юго-восток, тем самым сколы обращены на северо-восток, а соседний пологий берег является поймой для рек. И, наконец, для неровностей рельефа влияет близость гидрографических объектов, определяющих микроклимат территории (Селиверстов, 2004; Атлас Свердловской области, 1997).

К гидролого-климатическим факторам развития биоты и почв обычно относят гидротермический коэффициент, который определяется как отношение сумм осадков к суммам температур вегетационного периода, а также данное отношение, умноженное на 10. ГТК тесно связан с увлажнением территории, рассчитывающийся как отношение количества осадков к испарившейся влаге. На территории бассейна Нижнего Тобола коэффициент увлажнения составляет от единицы в южной части территории до 1,5 – 2 в северной части, то есть с достаточно увлажнённого до избыточного увлажнения (Селиверстов, 2004; Атлас Свердловской области, 1997).

Из данных групп факторов происходит развитие почвенно-растительного покрова и животного мира. На исследуемой территории выделяют таёжную и лесостепную зоны, при этом тайгу подразделяют на четыре подзоны. В северной тайге произрастают лиственнично-елово-сосновые леса с примесью пихты и берёзы на глееподзолистых почвах глинисто-песчаного и торфяного субстратов. Преобладающей растительностью среднетаёжной подзоны является елово-пихтово-сосновые формации с примесью лиственницы и берёзы на типично-подзолистых почвах торфяно-глинисто-песчаного субстрата. Распространённой растительностью является пихтово-елово-сосновые с осиново-берёзовыми лесными формациями на дерново-подзолистых почвах песчано-глинистого субстрата. Подтайга Западной Сибири характеризуется осиново-берёзовыми, мелколиственными лесами, и сосновыми сообществами с примесью пихты и ели на лугово-чернозёмных и дерново-подзолистых, редко серых лесных почвах глинисто-песчаного и торфяного субстратов. В северной лесостепи преобладающими растительными формациями служат осиново-берёзовые, травяно-осоковые и разнотравно-злаковые леса на лугово-чернозёмных и серых лесных глееватых почвах глинистого и торфяно-песчаного субстратов (Атлас Свердловской области, 1997; Мильков, 1977).

Отдельно выделяют азональные и интразональные ландшафтные структуры. На поймах рек произрастают берёзово-сосновые леса на аллювиальных почвах илисто-песчаного субстрата, что является признаком азонального распространения. Интразональные ландшафты представлены на болотных массивах и берегах озёр. В них выделяются сосновые и болотные растительные формации на болотных почвах торфяного субстрата. (Атлас Свердловской области, 1997; Мильков, 1977).

Из животных на территории бассейна Нижнего Тобола характерны следующие млекопитающие – лось, северный олень, косуля, кабан, бурый медведь, волк, лисица, соболь, куница, заяц, белка, енотовидная собака и другие. Из птиц встречаются глухарь, тетерев, рябчик, сова, филин, дятел, орлы, дрозды, куропатка и другие. Из них в Красную книгу России внесены орлан-белохвост, орёл-беркут и орёл-могильник. Также встречаются гадюки и живородящие ящерицы (Атлас Свердловской области, 1997; Мильков, 1977)

В последние 20 – 40 лет ведутся дискуссии о Глобальном потеплении, то есть о повышение не только средней температуры Земного шара, но его сезонно-годовой амплитуды. В связи с данным явлением можно предположить, что на территории бассейна Нижнего Тобола будут происходить следующие явления – пожары, засухи, катастрофические наводнения и неконтролируемый годовой сток рек (Website about World (Global) warming).

В связи с изменением среднегодовой температуры, а также её понижением зимой и повышением летом в последний год наблюдается засуха, губительная для урожая, а также падает уровень воды в реках и озёрах, горят торфяники. Лесные пожары уничтожают ценные породы деревьев – лиственницы сибирской (*Larix sibirica*), кедровой сибирской сосны (*Pinus sibirica*), пихта сибирская (*Abies sibirica*) и другие (Website about World (Global) warming).

Неконтролируемый сток рек развивается за счёт изменения интенсивности осадков и испарения, глубины промерзания почвы и высоты снежного покрова. Глобальное потепление

на исследуемой территории может отразиться следующим образом. Частые засухи по несколько недель с аномально высокими температурами, за счёт чего будет низкий уровень воды. Затем пройдут очень интенсивные ливневые осадки превышающих месячную норму в несколько раз за сутки, которые могут привести к размыванию почвенного покрова и обнажению геолого-геоморфологического фундамента. Из-за высокого испарения возможно иссушение поверхностных вод и понижение грунтовых вод. В холодное время года возможно резкое понижение температуры до аномальных морозов, которое приведёт к глубокому промерзанию почвы до 40 – 150 см. Данные морозы будут держаться за счёт блокирующего антициклона. В отдельные дни, в особенности в конце холодного периода возможны очень сильные снегопады с сильными ветрами – пурга с метелями. Такие зимы приведут к очень сильным весенним наводнениям – половодьям, сток которых будет слабо контролируемым. Также возможно затопление территорий Тавдинского бассейна из-за таяния ледников и поднятия уровня Мирового океана (Website about World (Global) warming).
Таким образом, для развития биоты и почвенного покрова территории важны космические, гидролого-климатические группы факторов. Также своё влияние оказывают неровности земной поверхности со своей историей. Но в последнее время, в связи с Глобальным потеплением возможны разные сценарии развития биоты и почвенного покрова на территории бассейна Нижнего Тобола. Поэтому в настоящей статье дан один из возможных сценариев развития событий, который характеризуется как резкое изменение погоды с сильными антициклональными явлениями природы, интенсивными наводнениями, которые размоют почву и возможно резкое изменение лесного покрова на саванновый тип.

ЛИТЕРАТУРА

1. Атлас Свердловской области. Под ред. В.Г. Капустина. Екатеринбург: Изд: Роскартография, 1997. 48 с.
2. Гурьевских О.Ю., Капустин В.Г., Скок Н.В., Янцер О.В. Физико-географическое районирование и ландшафты Свердловской области: коллект. монография / под редакцией О. Ю. Гурьевских; Екатеринбург: Урал. гос. пед. ун-т, 2016. 280 с.: ил.
3. Лёзин В.А. Реки Тюменской области (южные районы) / Справочное пособие. Тюмень, 1999. 196 с.
4. Мильков Ф.Н. Природные зоны СССР / Учебное пособие. Изд. 2-е, доп. и перераб. М.: изд-во Мысль, 1977. 293 с.: ил. и карт.
5. Национальный атлас России. Том 2. Природа. Экология. М.: Изд-во МГУ, 2012. 496 с.: ил. и. карт.
6. Попов А.И. Некоторые вопросы палеогеографии четвертичного периода в Западной Сибири // Вопросы географии. Историческое землеведение. 1949. Выпуск 12. С. 29–54.
7. Селиверстов Ю.П. Землеведение: Учеб. пособие для студ. вузов / Ю. П. Селиверстов, А.А. Бобков. М.: Издательский центр «Академия», 2004. 304 с.
8. Website about World (Global) warming. [Электронный ресурс]. URL: http://www.worldwarming.info/ (дата обращения 25.08.2021).

FACTORS DETERMINING THE DEVELOPMENT OF BIOTA AND SOIL COVER IN CONNECTION WITH GLOBAL WARMING (ON THE EXAMPLE OF THE LOWER TOBOL BASIN)

E.K. KHAYDAROV, A.A. KASHIN

Key words: *groups of biota formation factors, global warming, possible scenarios for the development of events*

ОСОБЕННОСТИ ПОЧВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОСЛЕ МАССОВОГО ВЕТРОВАЛА В ПОЛИДОМИНАНТНОМ ШИРОКОЛИСТВЕННОМ ЛЕСУ В ЭКОТОПЕ ФЛЮВИО-ГЛЯЦИАЛЬНЫХ ПЕСКОВ

Л.Г. ХАНИНА[1], К.В. ИВАЩЕНКО[2], А.И. ЖУРАВЛЕВА[2], В.Э. СМИРНОВ[3], М.В. БОБРОВСКИЙ[2], И.В. ЖМАЙЛОВ[4]

[1]Институт математических проблем биологии Российской академии наук – филиал Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша Российской академии наук, г. Пущино
[2]Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения Российской академии наук – обособленное подразделение ФИЦ ПНЦБИ РАН, г. Пущино
[3]Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов Российской академии наук, г. Москва
[4]Российский музей леса, г. Москва

Ключевые слова: *ветровал, заповедник Калужские засеки, микробная активность почвы, флювио-гляциальные пески, химические характеристики почвы, широколиственный лес*

Падение деревьев под действием ветра (ветровал) является частым природным нарушением. Так, по оценкам некоторых авторов в 19 и 20 веках ветровал являлся причиной естественных нарушений на более чем половине общей площади в лесах Европы (Schelhaas et al., 2003). В последние годы частота и масштабы ветровальных нарушений увеличиваются, что показано для Западной, Центральной и Северной Европы (Seidl et al., 2014; Gregow et al., 2017), а также для территории Европейской части России (Potapov et al., 2015; Shikhov et al., 2020). Несмотря на давнее внимание ученых к этому природному явлению и его большую распространенность, оценки вкладов древесного детрита, образующегося после ветровалов, в циклы элементов, общий баланс углерода, запас органического вещества почвы весьма противоречивы (Seidl et al., 2014; Magnússon et al., 2016). Целью нашего исследования является изучение свойств почв на территории массового ветровала, который случился в результате шквалистого ветра с ливнем и градом летом 2006 г. в многовидовом широколиственном лесу в заповеднике «Калужские засеки» (Бобровский, Стаменов, 2020).
Сбор почвенных образцов проводили летом 2020 и 2021 гг. в экотопе флювио-гляциальных песков, на дерново-подзолах и дерново-подбурах. Образцы брали в зоне массового ветровала для 6 видов деревьев (*Acer platanoides*, *Betula* spp., *Picea abies*, *Populus tremula*, *Quercus robur* и *Tilia codata*), не менее, чем в трехкратной повторности из верхнего органо-минерального слоя, 0-5 см: (1) под лежащими стволами деревьев и (2) рядом с этими же стволами на почве, свободной от крупных древесных остатков. Всего было взято 62 почвенных образца на территории массового ветровала. Дополнительно, для сравнения почвенных характеристик на ветровале и вне ветровала было взято 10 смешанных образцов почвы (также в слое 0-5 см) на том же участке леса, но вне зоны массового ветровала. При сборе почвенных проб были измерены мощности (в см) свежего опада (горизонт L), ферментированного опада (F) и гумусового горизонта (A). Для валежа отмечалась его таксономическая принадлежность, диаметр на расстоянии 1.3 м от корневой шейки, диаметр и стадия разложения бревна в месте взятия почвенной пробы. В лабораториях для каждого образца были определены содержания подвижных форм фосфора и калия (P_2O_5 и K_2O, фотометрически), углерода микробной биомассы (MBC) методом субстрат-индуцированного дыхания (Anderson, Domsch, 1978), скорость минерализации органического вещества почвы – базальное дыхание (образования CO_2, газово-хроматографически) (Ananyeva et al., 2008; Ivaschenko et al., 2019), активность β-глюкозидазы

– фермента, участвующего в цикле углерода, методом флюорогенно-меченых субстратов (Marx et al., 2005), а также функциональное разнообразие микробного сообщества почвы. Последнее было оценено техникой MicroRespTM, при которой регистрировались отклики микробного сообщества на внесение 14-ти разнообразных субстратов группы аминокислот, углеводородов, карбоновых и фенольных кислот (Cambell et al., 2003; Moscatelli et al., 2018). Эффективность разложения органического вещества почвы оценена через микробный метаболический коэффициент (qCO_2), равный отношению базального дыхания к углероду микробной биомассы. Определено содержание углерода, азота и водорода на автоматическом CHNS-анализаторе (LECO Corp., USA). Статистический анализ выполняли путем проведения серии однофакторых дисперсионных анализов. Среди независимых факторов анализировали вид упавшего дерева, его диаметр, стадию разложения, место взятия пробы (под и рядом с валежом), мощности гороизонтов L, F, A (их рассматривали и как факторы, и как отклики). Для исследования переменных был рассчитан v-критерий (Husson et al., 2017). Расчеты выполнены в среде R с привлечением функции catdes пакета FactoMineR (Le et al., 2008).

Предварительные результаты показали, что практически все почвенные характеристики в пробах, взятых на массовом ветровале, очень сильно варьировали. Наиболее высокий процент варьирования (до 76%) наибольшего числа характеристик (более двух третей от всех рассмотренных) объяснялся видовой принадлежностью валежа. На основе литературных данных мы ожидали, что характеристики почв в образцах, отобранных непосредственно под валежом и рядом с ним, будут значимо различаться. Такие результаты были получены в исследованиях, проведенных в средне- и старовозрастных лесах с единичными вывалами деревьев (Błońska et al., 2019; Yuan et al., 2017). Наше исследование показало, что на массовом ветровале (через 14 и 15 лет после события) почвенные характеристики в целом существенно зависят от упавших видов деревьев, но свойства почвенных проб, взятых непосредственно под валежом и рядом с валежом, мало различаются (исключение составило только удельное дыхание микробного сообщества, 19 % варьирования которого объяснялось местом взятия пробы: он был значимо выше под валежом). По-видимому, это можно объяснить тем, что на массовом ветровале упавшие стволы лежат довольно близко друг к другу, и валеж, вероятно, оказывает влияние на почву на таком расстоянии. Помимо видовой принадлежности, было установлено значимое влияние на отдельные почвенные характеристики таких факторов, как мощность опада, гумусового горизонта, стадии разложения валежа. Значения всех элементов питания почвы (P_2O_5, K_2O, C, N) вне зоны массового ветровала были значимо ниже, чем на ветровале.

Работа поддержана проектом РФФИ 20-04-00733а.

ЛИТЕРАТУРА

7. Бобровский М.В., Стаменов М.Н. Катастрофический ветровал 2006 года на территории заповедника «Калужские засеки» // Лесоведение. 2020. № 6. С. 523–536.
8. Ananyeva N.D., Susyan E.A., Chernova O.V., Wirth S. Microbial respiration activities of soils from different climatic regions of European Russia // Eur. J. Soil Biol. 2008. V. 44. P. 147–157.
9. Anderson J.P.E., Domsch K.H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. Soil Biol. Biochem. 1978. V. 10. P. 215–221.
10. Błońska E., Lasota J., Piaszczyk W. Dissolved carbon and nitrogen release from deadwood of different tree species in various stages of decomposition // J. Soil Sci. Plant Nutr. 2019. V. 65. No. 1. P. 100–107.

11. Campbell C.D., Chapman S.J., Cameron C.M., Davidson M., Potts J.M. A rapid microtiter plate method to measure carbon dioxide evolved from carbon substrate amendments so as to determine the physiological profiles of soil microbial communities by using whole soil // Appl. Environ. Microbiol. 2003. V. 69. P. 3593–3599.
12. Husson F., Le S., Pagès J. Exploratory multivariate analysis by example using R. 2nd edition. Chapman & Hall/CRC, 2017.
13. Ivashchenko K., Ananyeva N., Vasenev V., Sushko S., Seleznyova A., Kudeyarov V. Microbial C-availability and organic matter decomposition in urban soils of megapolis depend on functional zoning // Soil Environ. 2019. V. 38. No. 1. P. 31–41.
14. Gregow H., Laaksonen A., Alper M.E. Increasing large scale windstorm damage in Western, Central and Northern European forests, 1951–2010 // Sci. Rep. 2017. V. 7. 46397
15. Le S., Josse J., Husson F. FactoMineR: an R package for multivariate analysis // J. Stat. Softw. 2008. V. 25. No. 1. P. 1–18.
16. Magnússon R.I., Tietema A., Cornelissen J.H.C., Hefting M.M., Kalbitz K. Tamm Review: Sequestration of carbon from coarse woody debris in forest soils // For. Ecol. Manag. 2016. V. 377. P. 1–15.
17. Marx M., Kandele, E., Wood M., Wermbter N., Jarvis S. Exploring the enzymatic landscape: distribution and kinetics of hydrolytic enzymes in soil particle-size fractions // Soil Biol Biochem. 2005. V. 37. No. 1. P. 35–48.
18. Moscatelli M.C., Secondi L., Marabottini R., Papp R., Stazi S.R., Mania E., Marinari S. Assessment of soil microbial functional diversity: land use and soil properties affect CLPP-MicroResp and enzymes responses // Pedobiologia. 2018. V. 66. P. 36–42.
19. Potapov P.V., Turubanova S.A., Tyukavina A., Krylov A.M., McCarty J.L., Radeloff V.C., Hansen M.C. Eastern Europe's forest cover dynamics from 1985 to 2012 quantified from the full Landsat archive // Remote Sens. Environ. 2015. V. 159. P. 28–43.
20. Schelhaas M.J., Nabuurs G.J., Schuck A. Natural disturbances in the European forests in the 19th and 20th centuries // Glob. Change Biol. 2003. V. 9. P. 1620–1633.
21. Seidl R., Schelhaas M.-J., Rammer W., Verkerk P.J. Increasing forest disturbances in Europe and their impact on carbon storage // Nat. Clim. Change. 2014. V. 4. P. 806–810.
22. Shikhov A.N., Chernokulsky A.V., Azhigov I.O., Semakina A.V. A satellite-derived database for stand-replacing windthrow events in boreal forests of European Russia in 1986–2017 // Earth Syst. Sci. Data. 2020. V. 12. P. 3489–3513.
23. Yuan J., Hou L., Wei X., Shang Z., Cheng F., Zhang S. Decay and nutrient dynamics of coarse woody debris in the Qinling Mountains, China // PLoS ONE. 2017. V. 12. No. 4. Article No. e0175203.

SOIL CHARACTERISTICS AFTER CATASTROPHIC WINDTHROW IN A POLYDOMINANT BORAD-LEAVED FOREST ON THE FLUVIO-GLACIAL SANDS

L.G. KHANINA, K.V. IVASHCHENKO, A.I. ZHURAVLEVA, V.E. SMIRNOV, M.V. BOBROVSKY, I.V. ZHMAILOV

Key words: *windthrow, broad-leaved forest, Kaluzhskie Zaseki State Nature Reserve, fluvio-glacial sands, soil microbial activity, soil chemical characteristics*

СООБЩЕСТВА ПОЧВЕННЫХ НЕМАТОД ШИРОКОЛИСТВЕННЫХ ЛЕСОВ РЕГИОНОВ ЗАПАДНОГО ПОВОЛЖЬЯ

Р.В. ХУСАИНОВ

Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова Российской академии наук, г. Москва

Ключевые слова: *Поволжье, почвенные нематоды, фауна, фитопаразиты, широколиственные леса*

Фауна нематод в лесных экосистемах обладает большей устойчивостью и неизменным видовым составом по сравнению с аналогичной фауной в агроценозах, урбанизированных территориях и луговых биотопах (Волкова, Казаченко, 2014; Andrassy, 1996; Hanel, 1996; Yeates, 2007 и др.). Это связано с наличием стабильного источника питания и с особенностью лесных почв, которые обладают повышенной влагоемкостью. При этом, для широколиственных лесов отмечено более высокое разнообразие нематод, чем для хвойных (Калинкина и др., 2017; Liu et al., 2016). Большая часть исследований в нашей стране посвящена изучению фауны нематод хвойных лесов, для широколиственных фитоценозов данные носят фрагментарный, региональный характер.

Почвенные пробы отбирались в период с 2012 по 2015 гг. на территории западного Поволжья – в Нижегородской, Пензенской, Самарской, Саратовской, Ульяновской областях и Республике Мордовия. Сборы проводились в дубовых (различные типы дубняка), липово-осиновых и вязовых лесах. При обследованиях учитывали возраст и состав ценоза, микро- и макрорельеф местности, толщину почвенных горизонтов. Глубина отбора составляла 10-35 см. Нематод из почвы выделяли вороночным способом (время экспозиции 48 часов) или отмыванием на ситах. Выделенных особей нагревали при 55°С и фиксировали 4% раствором ТАФ. Таксономическое изучение проводили под 63-кратным водным объективом.

По результатам проведенных исследований фауна почвенных нематод широколиственных лесов в сумме включала 60 родов из 31 семейства 9 отрядов. Доминирующей группой нематод во всех пробах являлись бактериофаги (сапрофаги). Второе место по обилию занимали нематоды-микотрофы, далее стояли либо фитотрофы, либо хищные (полифаговые) группы. Бактериофаги были представлены типичными таксонами: цефалобидами (*Acrobeles*, *Acrobeloides*, *Cephalobus*, *Chiloplacus*, *Eucephalobus*, реже *Cervidellus*, *Heterocephalobus*), рабдитидами (*Choriorhabditis*, *Mesorhabditis*, *Pelodera*, *Rhabditis*, реже *Brevibucca*, *Protorhabditis*), плектидами (*Anaplectus*, *Plectus*, редко *Tylocephalus* и *Wilsonema*), панагролаймидами (*Panagrolaimus*) и монхистеридами (*Eumonhystera*, *Monhystera*). Виды родов *Alaimus*, *Cylindrolaimus* и *Teratocephalus* встречались периодически (65, 30 и 18% проб соответстенно) в низкой численности. Наибольшим видовым разнообразием среди бактериофагов были представлены рода *Eucephalobus*, *Plectus* и *Rhabditis*.

Нематоды-микотрофы включали афеленхид (*Aphelenchoides*, *Aphelenchus*, *Paraphelenchus*) – 90% проб, и тиленхин (*Aglenchus*, *Basiria*, *Filenchus*, *Lelenchus*, *Malenchus*, *Tylenchus* и др.) – 72% проб соответственно. Периодически встречались ангвиниды (*Ditylenchus*, *Nothotylenchus*), – около 45% проб. Микофаги из других таксономических групп (рода *Diphterophora*, *Proleptonchus*, *Tylencholaimellus* и др.) встречались периодически (32-46% проб). Редко отмечались микофаговые стадии энтомопаразитических нематод из родов *Deladenus* и *Hexatylus*. Видовое разнообразие преобладало для родов *Aphelenchoides*,

Filenchus и *Ditylenchus*. Хищные нематоды были часто представлены такими таксономическими группами как дорилаймиды (*Dorylaimus, Eudorylaimus*, *Laimydorus*, *Mesodorylaimus*, *Nygolaimus*, *Aporcelaimellus* и др.) и мононхиды (*Clarkus*, *Iotonchus*, *Mononchus*, *Mylonchulus*, *Prionchulus* и др.). Периодически встречались диплогастериды (*Pristionchus*) и различные трипилиды (*Bastiania*, *Tobrilus*, *Trypila* и *Prismatolaimus*), очагово – сейнуры (*Seinura*). Наибольшее видовое разнообразие представлено родами *Eudorylaimus* и *Mesodorylaimus*.

Среди фитотрофов наиболее часто встречались нематоды из сем. Belonolaimidae (*Nagelus*, *Tylenchorhynhus*), Hoplolaimidae (*Helicotylenchus*, *Rotylenchus*), Pratylenchidae (*Pratylenchus*), Paratylenchidae (*Paratylenchus*), реже Criconematidae (*Criconema*, *Criconemoides*, *Mesocriconema* и др.). Наибольшая численность отмечена для пратиленхов, геликотиленхов и паратиленхов, которая для данных групп колебалась от 34 до 280 особей/100см^3 почвы. Численность криконем варьировала от 10 до 54 особей. Нематоды из сем. Heteroderidae (*Heterodera*, *Meloidodera*) и Longidoridae (*Longidorus*, *Xiphinema*) встречались реже (16-22 % проб), и были приурочены к поймам лесных рек и ручьев. Из гетеродерид отмечены виды *H. ripae* и *H.* sp. (от 2 до 38 цист/100см^3 почвы). Лонгидориды были представлены видами *Longidorus aetnaeus*, *L. elongatus*, *Xiphinema paramonovi* и *X.* sp. Численность лонгидорусов колебалась от 4 до 38 особей, а ксифинем – от 8 до 62 особей/100см^3 почвы. Корнеукорачивающие нематоды из сем. Trichodoridae не отмечены.

На родовое разнообразие и численность почвенных нематод в широколиственных лесах влияют различные факторы, такие как специфика рельефа, плотность древостоя, состав живого напочвенного покрова, толщина подстилки и механический состав почвы. Так, пологие склоны, без травяного покрова и растительного опада характеризуются бедной фауной (около 20 родов); а участки леса с высокой толщиной слоя гумификации или плотным травостоем отличаются более богатым разнообразием (более 28 родов). Преобладание того или иного вида растения в древостое не оказывало существенного влияния на фауну нематод.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волкова Т.В., Казаченко И.П. Почвенные нематоды как компонент естественных и сельскохозяйственных ценозов в Приморском крае // Вестник ДВО РАН. 2014. № 3. С. 34–38.
2. Калинкина Д.С., Сущук А.А., Матвеева Е.М. Сообщества почвенных нематод хвойных и лесных лесов Республики Карелия // Материалы VII Всероссийской научной конференции «Теоретические и прикладные аспекты лесного почвоведения». Петрозаводск: КНЦ РАН, 2017. С. 207–210.
3. Andrassy I. Free-living nematodes in the Bükk Mountains, Hungary. In: The fauna of the Bukk National Park (eds. S. Mahuka) – Budapest: HNHM, 1996. V. 2. P. 33–63.
4. Hanel L. Soil nematodes in five spruce forests of the Beskydy mountains, Czech Republic // Fundamental and Applied nematology. 1996. V. 19. No. 1. P. 15–24.
5. Liu T., Shao Y., Shi L., Fu S. Differences in soil nematode community structure between an evergreen broad-leaved forest // Journal of tropical and subtropical botany, 2016. V. 24. No. 2. P. 189–196.
6. Yeates G.W. Abundance, diversity, and resilience of nematode assemblage in forest soils // Canadian Journal of Forest Reserch. 2007. V. 37. P. 216–225.

NEMATODE COMMUNITIES OF BROAD-LEAVED FORESTS IN WESTERN REGIONS OF THE VOLGA RIVER BASIN

R.V. KHUSAINOV

Key words: *soil nematodes, fauna, phytoparasites, broad-leaved forests, Volga region*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПРОТЕОЛИТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ

А.С. ЧЕРДАКОВА, С.В. ГАЛЬЧЕНКО

Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина, г. Рязань

Ключевые слова: *протеолитическая активность почвы, серые лесные почвы, цифровые технологии*

Среди экологических функций почвы особое значение имеет ее роль в поддержании и регуляции биогеохимического круговорота элементов в экосистемах. Одним из важнейших показателей биологической активности почвы выступает уровень протеолитической активности – показатель, отражающий интенсивность процессов деструкции сложных органических азотсодержащих соединений, катализируемых ферментами – протеазами (Хазиев, 2005). Биогеохимическая роль почвенных протеаз заключается в участии в глобальном круговороте биогенных элементов, а наиболее важная экосистемная – в формировании плодородия и азотного режима почвы. При этом активность почвенного протеолитического комплекса весьма чувствительна к антропогенному воздействию, что обуславливает ее значимость как диагностического признака техногенного нарушения почв. По этой причине протеолитическую активность весьма перспективно анализировать в процессе оценки эколого-биологического состояния почв староосвоенных территорий, в том числе серых лесных почв, в течение длительного времени подвергавшихся интенсивному антропогенному воздействию. В этой связи, развитие методов определения уровня протеолитической активности почвы приобретает особую значимость и актуальность.

Одним из основных методов оценки протеолитической активности почвы является аппликационный метод фотобумажной автографии, предложенный Е.Н. Мишустиным, И.С. Востровой, А.Н. Петровой (Мишустин и др., 1984). Аппликационным материалом в данном случае выступает рентгеновская пленка, а критерием оценки активности протеолитического комплекса – степень деструкции почвенными протеазами желатины эмульсионного слоя пленки. Преимущество метода заключается в том, что он позволяет наглядно проследить процесс расщепления питательного субстрата (желатины) в полевых условиях, а также дает возможность оценить активность протеаз различных почвенных горизонтов за определенный период времени и проанализировать интенсивность микробиологических процессов превращений азотсодержащих органических соединений (Казеев и др., 2003).

Но метод не лишен и недостатков, основными из них выступают низкая точность и определенная субъективность оценки результатов, поскольку подсчет площади разрушенного желатинового эмульсионного слоя, как правило, осуществляется либо визуально, либо с применением простейших средств и техник (кальки или палетки). По нашему мнению, намного более точные результаты позволит получить автоматизированный расчет соотношения площади, разрушенных протеазами и ненарушенных биодеструкцией участков рентгеновской пленки. Ввиду чего, нами было создано приложение на языке программирования C# в интегрированной среде разработки программного обеспечения Visual Studio 2019 Professional. Поскольку ненарушенный слой пленки имеет иную окраску нежели уничтоженные протеазами участки, принцип работы приложения основан на точном расчете соотношения цветов цифрового изображения рентгеновской пленки. Приложение соотносит цвет каждого пикселя изображения с встроенной шкалой, относя его либо к «разрушенным», либо «неразрушенным» протеазами участкам и затем рассчитывает процентное соотношение между этими двумя категориями.

Цифровая обработка результатов исследования с использованием разработанного приложения позволяет значительно повысить их точность и достоверность. Так, приложение дает возможность увеличить точность расчета площади уничтоженного протеазами слоя желатины до 144 раз по сравнению даже с наиболее точными ручными методами оценки (например, с применением миллиметровой бумаги). Причиной является тот факт, что, как было уже отмечено выше, приложение осуществляет расчет площади по пикселям (1 мм^2 изображения с разрешением 300 dpi включает в себя 144 пикселя), и, соответственно, даже с использованием вспомогательных средств (миллиметровая бумага, лупа и др.) визуально провести такую оценку невозможно.

Необходимо отметить, что приложение имеет простой интерфейс и удобно для использования даже в полевых условиях. Для получения результата необходимо лишь сфотографировать извлеченную из почвы пластину рентгеновской пленки, загрузить цифровое изображение в приложение и получить готовый результат расчета.

Данный подход уже апробирован нами в ходе исследований по изучению процессов восстановления техногенно-измененных серых лесных почв с использованием гуминовых препаратов (проект РФФИ № 14-05-97502 р_центр_а «Эколого-экономическая оценка влияния инновационных гуминовых препаратов на состояние техногенно-измененных серых лесных почв»). Указанные исследования носили комплексный характер и их предметом выступали различные показатели эколого-биологического и химического состояния техногенно-измененных серых лесных почв, в том числе и уровень протеолитической активности (Гальченко, Чердакова, 2014). Исследования проводились в условиях вегетационных экспериментов, в которых использовалась серая лесная почва, загрязненная в результате аварии на Чернобыльской АЭС изотопом цезия-137 (с удельной активностью цезия-137 – 116 Бк/кг). В экспериментах применялись гуминовые препараты, полученные из различного сырья и по различным технологиям: Гумат калия (торф, щелочная экстракция), Биогумат (биогумус, щелочная экстракция), Гумат-КР (торф с силикатными модулями, щелочная экстракция), «Эдал-КС» (торф, щелочная экстракция), «Питер-Пит» (торф, сочетание щелочной экстракции и ультразвуковой кавитации), Гумат-УК (торф, ультразвуковая кавитация). Указанные препараты вносили в почву в виде 0,01% и 0,02% водных растворов. Контролем в эксперименте служили почвенные образцы без внесения препаратов. Активность протеолитического комплекса почвы изучалась вышеописанным аппликационным методом, обработка результатов осуществлялась при помощи разработанного приложения. Повторность на всех вариантах – четырехкратная.

Результаты, проведенных экспериментальных исследований показали, что внесение любых из анализируемых гуминовых препаратов в загрязнённую цезием-137 серую лесную почву способствует повышению ее протеолитической активности от 5 % до 20 % в зависимости от дозы и вида препарата. При этом, в отношении всех препаратов прослеживается тенденция нарастания стимулирующего действия на протеолитический комплекс почвы при увеличении дозы вносимого препарата. Наиболее интенсивная стимуляция почвенных протеаз отмечалась под воздействием препаратов «Гумат калия», «Эдал-КС», «Питер-Пит» и «Гумат-УК». Тогда как эффект от внесения в почву «Гумата-КР» и «Биогумата» был не таким выраженным.

Стоит отметить, что применение цифровых технологий при обработке результатов исследования с использованием разработанного приложения позволила значительно повысить их точность и достоверность, выявить статистически значимые различия между вариантами опыта. Данное обстоятельство указывает на перспективность применения описанного приложения для оценки и интерпретации результатов исследования протеолитической активности серых лесных почв аппликационным методом.

Исследование выполнено в рамках проекта РФФИ № 14-05-97502 р_центр_а «Эколого-экономическая оценка влияния инновационных гуминовых препаратов на состояние техногенно-измененных серых лесных почв».

ЛИТЕРАТУРА

1. Гальченко С.В., Чердакова А.С. Результаты экспериментальной оценки влияния гуминовых препаратов на экологическое состояние техногенно-загрязненных серых лесных почв // Экологический вестник России. 2014. № 12. С. 40–45.
2. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований. Ростов н/Д: Изд-во РГУ, 2003. 216 с.
3. Микроорганизмы как компонент биогеоценоза: методы изучения / Отв. редактор Е.Н. Мишустин. М.: Наука, 1984. 159 с.
4. Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии М.: Наука, 2005. 252 с.

THE USE OF DIGITAL TECHNOLOGIES IN DETERMINING THE PROTEOLYTIC ACTIVITY OF GRAY FOREST SOILS

A.S. CHERDAKOVA, S.V. GALCHENKO

Key words: *gray forest soils, proteolytic soil activity, digital technologies*

ОЦЕНКА ЗАПАСОВ ПОЧВЕННОГО УГЛЕРОДА ЛЕСНЫХ РАЙОНОВ РОССИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БАЗ ДАННЫХ ПОЧВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

О.В.ЧЕСТНЫХ[1,2], В.И. ГРАБОВСКИЙ[2], Д.Г. ЗАМОЛОДЧИКОВ[2]

[1]Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
биологический факультет, г. Москва
[2]Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов Российской академии наук, г. Москва

Ключевые слова: *база данных, запасы почвенного биологического углерода, Земли лесного фонда России, лесные почвы, лесные районы, лесообразующие породы*

В предложенной работе имеющиеся данные по запасам углерода почв агрегированы по лесным районам, официально утвержденным эколого-административным пространственным единицам (приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 18 августа 2014 г. № 367). Лесные районы послужили топ основой для экстраполяции выборочных данных на всю территорию соответствующего района и лесных земель в целом. Такой подход облегчает использование данных по оценкам запасов почвенного углерода в оценках углеродного бюджета региональных экосистем.

Непосредственной задачей данной работы является экстраполяция данных почвенных разрезов по слоям почвенной толщи (0-30, 0-50, 0-100 см) по лесным районам.

Двумя авторами настоящей работы ранее по материалам открытых публикаций была создана база данных «Почвенные характеристики Северной Евразии» (Честных, Замолодчиков, 2018). База данных объединяет информацию около 1500 почвенных разрезах из 300 литературных источников. В ней более представлены почвенные разрезы, заложенные в лесах, добавлены описания разрезов для других категорий земель – тундр, лугов, степей, пастбищ, пашен, садов. В последней версии базы существенно изменена структура, для отсутствующих значений тех или иных параметров добавлены расчетно-экспертные оценки, что позволило включить ранее не использовавшуюся информацию в расчет.

В представленной базе проводилась оценка запасов органического углерода в почвах России, к тому же методологически максимально совместимая с данными о запасах углерода в других пулах биогеоценозов. По каждому разрезу имеется подробная информация (около 40 параметров): географическое положение, строение почвенного профиля, физико-химические свойства почв, механический состав, валовый химический состав, содержание органики по всем выделенным горизонтам. По имеющейся в базе информации, связанной с объемным весом почвенных горизонтов, были оценены значения объемной массы для всех почвенных горизонтов, используя регрессионные уравнения, в которых учитывалась глубина залегания горизонта, процентное содержание в нем гумуса, группы типов почв, группы подстилающих пород, географическая подзона.

Эта база служила основой для расчетов запасов углерода и азота в почвах лесов и тундр России (Честных, Замолодчиков, 2017). Расчеты типовых значений углерода почвы выполнены на основе этой базы. Всего отобрано 1405 почвенных разрезов, содержащих все необходимые для анализа данные: координаты, расчетные данные по содержанию углерода на различных почвенных уровнях (в слоях 0-30, 0-50 и 0-100 см), а также данные о биотопе, в котором проводился разрез

Вторым источником данных является база данных ГУЛф от 2008 года. Это последняя база с представительством отдельных лесхозов. По данным из этой базы рассчитаны доли площадей лесных земель различных категорий («биотопов»). По картографическим данным при помощи инструментов ArcGIS выделены списки лесхозов для каждого лесного района.

При помощи полученных списков и долям площадей по лесхозам, полученным из ГУЛф, составлены доли земель различных категорий («биотопов») для лесных районов в целом.
Для определения пространственной дифференциации средних значений все присутствовавшие в базе разрезы распределены по лесным районам через их координаты. Установлены принадлежность каждого разреза к лесному району, а по описаниям разрезов – к биотопу.
Получены суммарные и средние запасы почвенного углерода для площади 1368 * 106 га лесных районов России. Для слоя 0-100 см суммарные запасы составляют 215,8±31,1 * 109 т С; средние запасы – 162±23 т С $га^{-1}$, оценки представлены средними значениями ±SE (стандартной ошибкой).
Получены карты распределения запасов углерода для лесных районов России в отношении разных глубин разрезов.

Работа выполнена в рамках темы научного проекта государственного задания МГУ № 121032500094-5 «Построение концептуальных и математических моделей зональных типов наземных экосистем» (анализ данных) и темы № АААА–А18– 118052400130–7 Центра по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН (моделирование).

ЛИТЕРАТУРА

1. Честных О.В., Замолодчиков Д.Г. БД «Почвенные характеристики Северной Евразии», свидетельство о гос.регистрации БД в Федеральной службе интеллектуальной собственности № 2018621164 от 17.05.2018 г.
2. Честных О.В. Замолодчиков Д.Г. Запасы органического углерода в почвах лесов России // Природные и антропогенные экосистемы: проблемы и решения. М.: Библиоглобус, 2017. С. 19–60.

ESTIMATION OF SOIL CARBON STOCK IN RUSSIAN FORESTS USING SOIL CHARACTERISTICS DATABASES

O.V. CHESTNYKH, V.I. GRABOVSKY, D.G. ZAMOLODCHIKOV

Key words: *Russian forest inventory, dominant tree species, forest regions, forest soil, biological carbon stock in soil.*

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ IOT ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ЗЕЛЁНЫХ НАСАЖДЕНИЙ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ЗАСОЛЕНИЯ ПОЧВ

Н.П. ШАБАНОВА [1,2], А.М. ЯРОСЛАВЦЕВ [2,3], И. СЕРЕГИН[2,3], О. ФАРЕЕВА[2]

[1]Институт лесоведения РАН, с. Успенское
[2]Российский университет дружбы народов, г. Москва
[3] Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва

Ключевые слова: *противогололедные реагенты, некроз листьев, хлорид натрия, интернет вещей*

Противогололедные реагенты (ПГР) являются одним из главных антропогенных факторов, отрицательно влияющих на окружающую среду. Самыми уязвимыми компонентами природной среды в мегаполисах являются почвы и зеленые насаждения. Дорожные соли ухудшают химические, физические и биологические свойства почв, негативно сказываются на зеленых насаждениях, растущих вдоль дорог. Ранние исследования по воздействию противогололедных реагентов на компоненты окружающей среды были сосредоточены на изучении краткосрочного воздействия солей на придорожные участки. Однако в последнее время накапливаются данные, свидетельствующие что использование солей оказывает значительное воздействие на обширные территории, имеет более длительные временные рамки и влияет на целый ряд экологических процессов. Хлорид натрия, по-видимому, подвержен удержанию в наземных и водных экосистемах, что продлевает его фактическую продолжительность воздействия и приводит к повышенным концентрациям в теплый сезон.

Применение технологий интернета вещей (устройство Tree Talker) в системе мониторинга экологического состояния зеленых насаждений города позволяет расширить временной и пространственный масштаб наблюдений, получать высокочастотные количественные данные о физиологическом состоянии деревьев в режиме реального времени.

Для оценки влияния ПГР на деревья и почвы на территории кампуса РУДН было выбрано два участка, различающихся уровнем антропогенной нагрузки. Первый участок находится у проезжей части и подвержен многолетнему влиянию противогололедных средств, пылевому загрязнению, а также воздействию продуктов автотранспорта. Второй участок (контроль) находится внутри кампуса вдали от проезжей части и предположительно не загрязнен противогололедными реагентами. На опытных участках было выбрано по три дерева липы сердцелистной (*Tilia cordata*) возрастом 60-65 лет.

Для мониторинга за физиологическими параметрами состояния деревьев на каждом дереве устанавливался датчик TT+, обеспечивающий непрерывные наблюдения в течение всего периода исследований. Параллельно непрерывным наблюдениям за физиологическими параметрами деревьев на каждом участке несколько раз за сезон проводилась визуальная оценка состояния деревьев, оценка степени некроза кроны, лабораторный анализ почв, листьев, а также снега. Для оценки степени некроза кроны с каждого дерева было собрано 50 типичных листьев на высоте 1,5-2,5 м из средней и нижней части кроны от шести до восьми ветвей деревьев с помощью телескопических ножниц. Затем отсканированные изображения листьев обрабатывались с помощью программы ImageJ, в которой производился подсчет общей площади листа и некрозированной ткани. Расчет доли некроза выполнен путем отношения площади некрозированной ткани к общей площади листа. В дальнейшем в этих же листьях был проведен химический анализ на определение содержания ионов легкорастворимых солей. Оценку засоления почв проводили кондуктометрическим методом путем измерения удельной электропроводности

(УЭП) в водной вытяжке с соотношением почва – вода = 1:5, определение содержания отдельных ионов выполнено методом водных вытяжек. Реакция pH почвенного раствора проводилась в образцах с соотношением почва – вода =1:2,5.

Показано значительное изменение характеристик состояния деревьев и почв с увеличением антропогенной нагрузки (Рис. 1). Выявлено, что у дороги деревья более уязвимы, чем на территории кампуса: вместе с увеличением содержания ионов хлора и натрия в листьях повышается и площадь их некроза, отмечается уменьшение площади листовой поверхности, усыхание, преждевременное пожелтение и дефолиация листьев. Почвы у дороги подвержены большему засолению – удельная электропроводность для них в 2 раза выше, чем таковая на территории кампуса. При этом скорость сокотечения деревьев у дороги в 3.3 раза ниже, чем на территории кампуса. Это указывает на ухудшение физиологического состояния деревьев и деградацию почв в условиях длительного применения противогололедных реагентов.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда, проект № 19-77-30012.

APPLICATION OF MODERN IOT TECHNOLOGIES FOR MONITORING THE STATE OF GREEN FOREST PLANTATIONS IN CONDITIONS OF ANTHROPOGENIC SOIL SALINATION

N.P. SHABANOVA, A.M. YAROSLAVTSEV, I. SEREGIN, O. FAREEVA

Key words: *deicing agents, leaf necrosis, sodium chloride, internet of things*

БИОХИМИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ЛЕСНЫХ ПОЧВ, ЗАГРЯЗНЁННЫХ КЕРОСИНОМ (ПОЛЕВОЙ ЭКСПЕРИМЕНТ В ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ СМОЛЕНСКО-МОСКОВСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ)

А.В. ШАРАПОВА, И.Н. СЕМЕНКОВ, П.П. КРЕЧЕТОВ, С.А. ЛЕДНЕВ, Т.В. КОРОЛЕВА

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

Ключевые слова: *биохимическая активность, керосин., углеводородные топлива, целлюлозолитическая активность*

Актуальность. Углеводородное загрязнение лесных экосистем является одной из актуальных экологических проблем в районах добычи нефти и газа. Наибольшее число существующих исследований рассматривает влияние добываемого углеводородного сырья на почву и биоту. Однако, воздействие продуктов его переработки (моторные, топлива, масла и т.д.) охватывает значительные территории, находящиеся за пределами месторождений. Анализ литературы показал, что воздействие фракций углеводородов, входящих в состав различных топлив изучено недостаточно. Ряд исследований отмечает, что процесс деградации керосина и дизельного топлива в почве в определенных ландшафтных условиях протекает медленнее, чем биодеградация непереработанной нефти в районах ее добычи.

Цель исследований – оценка влияния авиационного керосина на функционирование микробиоценоза лесных почв в условиях полевого эксперимента. Объекты и методы. Эксперимент выполнен в зоне хвойно-широколиственных лесов (Боровский район, Калужской области) на двух типах почв: дерново-подзолистая почва под осиново-еловым разнотравным лесом и почвы верховых болот под сосняком кустарничково-пушицево-сфагновым .

Полевые работы выполнены в 2020-2021 годах. Загрязнение проводили авиационным керосином ТС-1 (ГОСТ 10227-86) на площадках 50 на 50 см. Варианты задаваемых нагрузок углеводородного топлива для слоя 0-10 см составляли 1, 5, 10, 25 и 100 г/кг. Оценку биологической активности почв проводили ежемесячно в период положительных температур. Изучение динамики функционирования микробоценоза проведено с использованием двух показателей, отражающих биохимический потенциал корнеобитаемого слоя почв: биохимического окисления легкогидролизуемых органических веществ (БО ЛГОВ) и биологического потребления кислорода (БПК).

Биохимическое окисление легкогидролизуемого органического вещества (БО ЛГОВ) определяли аппликационным методом. Модельные тест-объекты, фрагменты льняного полотна (10 на 20 см) известной массы (4-6 г.), ежемесячно закладывались в корнеобтаемый слой почвы. Через месяц инкубации льняное полотно извлекали из почвы и определяли потерю его массы. Интенсивность биохимического окисления легкогидролизуемых органических веществ оценивали по доле окисленного органического вещества за сутки (мг/г ЛГОВ в сутки).

Биологическое потребление кислорода (БПК) отражает потенциальную биохимическую активность почв. Измерение БПК проводили в лаборатории в образцах почвы, отобранных из корнеобитаемого слоя каждой площадки раз в месяц, в момент проведения наблюдений за показателем ЦА. Определение БПК осуществляли по авторской методике, основанной на измерении интенсивности снижения содержания растворенного кислорода в почвенной суспензии при ее инкубации в течении 5 суток.

БПК незагрязненной дерново-подзолистой почвы в течение эксперимента изменялось от 0,21 до 0,47 мгO_2/100 г почвы. Максимальные значения БПК отмечены весной, а минимальные осенью.

Внесение небольших доз керосина (1 г/кг) вызвало в течении летних месяцев незначительный ингибирующий эффект в 1,8-2,9 раза. Однако осенью и весной следующего года

изменение биохимической активности почв достоверно не отличалось от фоновых значений и составило 0,26-0,41 мгO_2/100 г почвы.

Внесение 5 г/кг керосина и более вызывает увеличение интенсивности биохимической активности почв в первые четыре месяца (с июля по октябрь 2020 г).

Рост БПК по сравнению с контролем в среднем составляет 2-3 раза, но для варианта в 100 г/кг достигает 3,4-4,5 раз. Такое увеличение БПК обусловлено привносом легкогидролизуемых органических веществ в составе керосиновой фракции.

После зимы, в весенне-летний период 2021 года, значения БПК снижаются до фоновых значений и достоверно не отличаются от контроля. Это может быть обусловлено восстановлением исходного состояния почвенного биоценоза, а также снижением доступного для биохимического окисления органического вещества в результате его выноса с талыми водами за пределы корнеобитаемого слоя.

За весь период наблюдения БПК незагрязненной болотной почвы изменялся в диапазоне от 0,55 до 0,94 мгO_2/100 г. почвы. Однако, в отличии от дерново-подзолистой почвы, наибольшая биохимическая активность установлена в осенние сроки наблюдения. Для поверхностного горизонта незагрязненной болотной почвы по всем срокам наблюдения БПК был в 1,6-4,5 раза выше, чем в дерново-подзолистой почве.

Воздействие минимальной нагрузки керосина (1 г/кг), не привело к значительным изменениям биохимической активности поверхностного горизонта почв по сравнению с контролем. БПК изменялся от 0,40 до 1,06 мгO_2/100 г. почвы. Воздействие средних и высоких нагрузок керосина (5 г/кг и более) приводит к росту интенсивности использования кислорода на его окисление на первом сроке наблюдений в 1,5-2 раза. В дальнейшем, более высокие уровни БПК в загрязненных почвах по сравнению с фоном остаются на протяжении последующих четырех месяцев. Достоверной зависимости величины БПК от количества вносимого керосина не выявлено. Однако весной, после осенне-зимних промывок, уровень БПК снижается до фоновых значений, что позволяет говорить о восстановлении биохимического состояния болотных почв.

Биохимическое окисление легкогидролизуемых органических веществ в корнеобитаемом слое незагрязненной дерново-подзолистой почвы изменяется от 6,1 до 33,04 мгЛГОВ/сутки. Наиболее интенсивно разложение льняного полотна происходит в летний период; осенью и зимой БО ЛГОВ минимально. Ведущим фактором, определяющим сезонную динамику этого показателя, являются гидротермические условия.

Внесение керосина вызвало значимое снижение БО ЛГОВ в вариантах с высокой нагрузкой (25 и 100 г/кг). На протяжении четырех месяцев и его значение не превышает 5 мгЛГОВ/сутки. Весной в апреле-мае 2021 года интенсивность разложения льняного полотна на площадках с керосином достоверно не отличалось от контрольных вариантов, за исключением площадки с внесением 100г/кг. Для данного варианта БО ЛГОВ оказалась в 2 раза ниже, чем на фоне. Однако, в мае-июне достоверных различий по интенсивности разложения целлюлозы между вариантами не установлено.

В целом сезонная динамика БО ЛГОВ выявленная на фоновых площадках сохраняется и в вариантах с внесением углеводородных компонентов.

БО ЛГОВ в незагрязненных болотных почвах существенно ниже, чем в дерново-подзолистых и варьирует в диапазоне 1,7-2,1 мгЛГОВ/сутки.

Внесение высоких доз загрязнителя (10 г/кг и более) привело к двухкратному уменьшению значений показателя разложения целлюлозы до 0,79-0,92 мгЛГОВ/сутки. Восстановления БО ЛГОВ до уровня незагрязненной почвы за весь период эксперимента (год) не произошло. Это может быть обусловлено высокой обводненностью болотных почв, что приводит к затрудненному газообмену и, как следствие, снижению целлюлозолитической активности. Таким образом, в болотных почвах требуется больше времени для восстановления всех функций почвенного биоценоза.

Исследование выполнено в рамках проекта РФФИ № 19-29-05206 мк «Факторы и механизмы формирования адаптационной емкости почвенных экосистем гумидных и аридных ландшафтов к загрязнению керосиновыми топливами»

Финансирование: проект РФФИ № 19-29-05206 мк «Факторы и механизмы формирования адаптационной емкости почвенных экосистем гумидных и аридных ландшафтов к загрязнению керосиновыми топливами».

BIOCHEMICAL POTENTIAL OF FOREST SOILS CONTAMINATED WITH KEROSENE (FIELD EXPERIMENT IN THE SOUTHWESTERN PART OF THE SMOLENSK-MOSCOW UPLAND)

A.V. SHARAPOVA, I.N. SEMENKOV, P.P. KRECHETOV, S.A. LEDNEV, T.V. KOROLEVA

Key words: *Biochemical activity, cellulolytic activity, hydrocarbon fuels, kerosene.*

ПЕРВАЯ ВЕРСИЯ ПОЧВЕННОЙ КАРТЫ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА "СМОЛЕНСКОЕ ПООЗЕРЬЕ"

О.В. ШОПИНА [1,2], М.И. ГЕРАСИМОВА [2,3], И.М. БАВШИН [4], В.Р. ХОХРЯКОВ [4], И.Н. СЕМЕНКОВ [1,2]

[1]Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов Российской академии наук, г. Москва
[2]Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва
[3]Почвенный институт им. В.В. Докучаева Российской академии наук, г. Москва [4]Национальный парк «Смоленское Поозерье», пос. Пржевальское

Ключевые слова: *почвенное картографирование, структура почвенного покрова, пахотные почвы, краевая зона валдайского оледенения, Смоленское Поозерье, подзолы, палеопочвы*

Создание карт в традициях факторно-генетического подхода не утратило свою актуальность особенно на территории, где нет большого объема пространственной информации и не проводились детальные почвенные исследования. В основе подхода лежит сравнительно-географический метод В. В. Докучаева, заключающийся в установлении связей между факторами среды и сформированной ими почвой.

Сложность учета факторов среды для территории национального парка (НП) «Смоленское Поозерье» определяется уникальным сочетанием разных ледниковых форм рельефа и отложений краевой зоны валдайского оледенения с пестротой растительных сообществ, несмотря на господство песчаных почвообразующих пород, заозеренностью, давним земледельческим освоением при значительной густоте населения. Почвенные карты территории, начиная с первой карты В. В. Докучаева, были созданы на основе педогенетических концепций их авторов, считавших приоритетными разные факторы.

Цель работы: составить почвенную карту НП с использованием факторно-генетического подхода в формате новой классификации почв России. Содержание карты обеспечивается полевыми материалами по 78 разрезам на 7 ключевых участках, представляющих основные геоморфологические районы и разную историю землепользования. Контурная часть корректировалась по крупномасштабным почвенным картам совхозов, существовавших на территории НП, а также компонентным картам факторов почвообразования, лесоустройства и космических снимков «Sentinel 2».

Наибольшую площадь на севере и в центре НП занимают ареалы подзолов иллювиально-железисто-гумусовых под еловыми и сосновыми лесами; при более богатом составе подлеска они сменяются подбурами оподзоленными. Альфегумусовый процесс ограничивается повышенной зольностью опада и слабокислой-нейтральной реакцией почвообразующих пород, в связи с этим формируются почвы с недифференцированным профилем - грубогумусовые под хвойными лесами.

Альфегумусовые почвы на флювиогляциальных песках под смешанными и широколиствнными лесами на западе и юге обычно имеют дерновый (серогумусовый) горизонт темного цвета и с повышенным содержанием гумуса. При бедном составе подлеска развиваются дерново-подзолы иллювиально-гумусово-железистые, а под лесами с богатым подлеском – подбуры иллювиально-железистые. Локально, на суглинистых породах встречаются дерново-подзолистые почвы. Кроме того, на этих территориях спорадически встречаются участки суглинистых и многочленных отложений, на которых развиваются подзолистые почвы.

Суглинистые и многочленные почвы занимают существенно меньшую площадь чем песчаные и широко встречаются лишь в юго-восточной и центральной частях НП, а также фрагментарно на западе преимущественно под смешанными и широколиственными

лесами и значительно реже под хвойными. В пониженных элементах рельефа и на многочленных породах встречаются глеевые и глееватые почвы, в том числе контактно-глееватые, (дерново-)подзолистые.

Торфяные почвы представлены олиготрофными, мезотрофными и эутрофными. Они наиболее распространены в северной и северо-западной частях НП, в пределах зандровой равнины, а также встречаются небольшими ареалами по всей территории.

В отдельную группу можно выделить мелкоконтурные комбинации (сочетания и вариации) почв озовых гряд и камовых холмов на флювиогляциальных песках и супесях. Они наиболее широко распространены в холмисто-моренной (южной) части НП.

(Пост)агрогенные почвы наиболее широко распространены в западной и центральной частях НП; наименьшие площади занимают современные поля с агроземами и агроабраземами в районе поселка Баклановское, к югу от озера Сапшо и к югу от поселка Городище. Среди постагрогенных почв доминируют дерново-подзолистые постагрогенные реградированные почвы, встречаются дерново-подбуры и серогумусовые песчаные почвы под разнообразной растительностью от кустарников на залежах до широколиственно-хвойных лесов.

Другими представителями антропогенно-модифицированных почв являются многогумусовые палеоурбостратоземы под древними поселениями в районе городища Вержавска и селища на южном берегу Баклановского озера, а также торфоземы осушенных болот Лопатинский и Низовский мох.

Таким образом, по итогам почвенного картографирования НП было выделено 22 типа почв, для многих из которых характерен полиэкоморфизм. Среди природных почв максимальное распространение имеют альфегумусовые. (Пост)агрогенные почвы занимают 22 % территории, среди них преобладают дерново-подзолистые постагрогенные.

Исследование выполнено в рамках проекта РНФ № 21-74-20171.

THE FIRST VERSION OF THE SOIL MAP OF THE "SMOLENSK LAKELAND" NATIONAL PARK

O.V. SHOPINA, M.I. GERASIMOVA, I.M. BAVSHIN, V.R. HOHRYAKOV, I.N. SEMENKOV

Key words: *soil mapping, soil cover structure, arable soils, marginal zone of the Valdai glaciation, Smolenskoe Poozerye, podzols, paleosols*

РОЛЬ КРУПНЫХ ДРЕВЕСНЫХ ОСТАТКОВ В ПОЧВООБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССАХ В ТАЕЖНЫХ И ТРОПИЧЕСКИХ ЛЕСАХ

Е.В. ШОРОХОВА[1], Е.А. КАПИЦА[2]

[1] Институт леса Карельского научного центра Российской академии наук, ФИЦ "Карельский научный центр РАН", г. Петрозаводск
[2]Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет, г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: *древесный детрит, ксилолиз, разложение, углерод*

Результаты многочисленных исследований демонстрируют ключевую роль крупных древесных остатков (КДО) – сухостоя, валежа, зависших стволов, пней, крупных ветвей и корней – в функционировании экосистем таежных, смешанных и широколиственных лесов (Замолодчиков, 2009; Стороженко, 2011; Stokland et al., 2012). Для тропических лесов существуют лишь фрагментарные оценки пулов КДО (Chambers et al., 2001; Clark et al., 2002). Закономерности формирования структурного разнообразия и динамики КДО в тропических лесах практически не изучены (Шорохова и др., 2019). Соответственно, роль КДО в формировании биоразнообразия тропических лесов и их роли в круговоротах биогенных элементов остается неизвестной.

Динамика пула КДО зависит от соотношения скорости отпада в результате отмирания деревьев или их отдельных фракций и разложения. В свою очередь, процессы разложения КДО включают биогенный ксилолиз, приводящий к потере массы и эмиссии CO_2 в атмосферу, фрагментацию и поедание беспозвоночными и выщелачивание. На глобальном уровне, биогенный ксилолиз является основным процессом, приводящим к потере массы КДО (Russell et al., 2015).

В таежных лесах длительность процесса ксилолиза зависит от климатических факторов, в основном, температуры, а также от древесной породы, типа древесного отпада и других характеристик субстрата, и варьирует от нескольких десятков до нескольких сотен лет (Shorohova, Kapitsa, 2016). В северных широтах возможно также, так называемое, «захоронение» КДО под слоем сфагновых мхов с увеличением длительности процессов ксилолиза на неопределенно долгое время (Moroni et al., 2015). In vitro, при оптимальных температуре и влажности, ксилолиз коррозионного типа, вызываемый грибом одного вида, приводит к полному разложению образца древесины (Соловьев, 1992). При деструктивном типе микогенного ксилолиза остается остаток, составляющий по массе около 30 % (Соловьев, 1992). Однако, в природных условиях, при варьирующих условиях внешней среды и составе микоценоза КДО разлагаются, по всей видимости, не полностью. Часть полностью или частично разложившегося древесного вещества переходит в почву (Magnússon et al., 2016). Предприняты попытки изучения процента углерода, вымываемого с лизиметрическими водами (Kahl et al., 2012), анализа концентрации углерода, азота и аминосахаров в почвенном профиле под валежными стволами в зависимости от типа ксилолиза (Bai et al., 2017; Błońska et al., 2017; Persoh et al., 2017; Ханина и др., 2020). Однако, количественные оценки масштабов и скорости этих процессов в масштабе отдельных стволов в течение всего периода их разложения, не говоря уже о масштабе экосистемы, до сих пор отсутствуют.

В тропических лесах более важную, по сравнению с грибами, роль в разложении КДО также играют термиты (Лопес де Гереню и др. 2015; Shorohova et al., 2021), деятельность которых может приводить к потере массы КДО на 70 и более процентов (Shorohova et al., 2021). При

этом возможное влияние процессов фрагментации КДО и их разложения на физико-химические характеристики почв не исследовано.

Таким образом, очевидна необходимость разработки программы исследования роли крупных древесных остатков в почвообразовании на различных уровнях – от отдельного ствола да экосистемы или биома.

Исследование выполнено в рамках проекта РФФИ 19-04-01282а и госзадания Института Леса Кар НЦ РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. Замолодчиков Д.Г. Оценка пула углерода крупных древесных остатков в лесах России с учетом влияния пожаров и рубок // Лесоведение. 2009. № 4. С. 3–15.
2. Лопес де Гереню В.О., Аничкин А.Е., Авилов В.К., Кузнецов А.Н., Курганова И.Н. Термиты как фактор пространственной неоднородности потоков CO2 из почв муссонных тропических лесов южного Вьетнама // Почвоведение, 2015. № 2. С. 228–238.
3. Соловьев В.А. Микогенный ксилолиз, его экологическое и технологическое значение // Научные основы устойчивости лесов к дереворазрушающим грибам. М. Наука, 1992. 222 с.
4. Стороженко В.Г. Древесный отпад в коренных лесах Русской равнины. М. КМК, 2011, 122 с.
5. Ханина Л.Г., Бобровский М.В., Иващенко К.В., Смирнов В.Э. Почвенные характеристики под валежом после массового и единичных ветровалов в зоне широколиственных лесов // В сб.: Почва как компонент биосферы: эволюция, функционирование и экологические аспекты.Материалы Всероссийской научной конференции, посвященной 50-летию ИФХиБПП РАН, 2020. С. 183–184.
6. Шорохова Е.В., Капица Е.А., Кузнецов А.Н., Кузнецова С.П. Крупные древесные остатки (КДО) в муссонных тропических лесах Вьетнама: неизученный фактор почвообразования // Лесные почвы и функционирование лесных экосистем: матер. VIII Всерос. науч. конф. с межд. участием. М.: ЦЭПЛ РАН, 2019. С. 145-147.
7. Bai Z., Ma Q., Dai Y. et al. Spatial Heterogeneity of SOM Concentrations Associated with White-rot Versus Brown-rot Wood Decay // Scientific reports. 2017. V. 7. P. 13758.
8. Błońska E., Kacprzyk M., Spólnik A. Effect of deadwood of different tree species in various stages of decomposition on biochemical soil properties and carbon storage // Ecol. Res. 2017. V. 32. P. 193–203.
9. Chambers J.Q., Schimel J.P., Nobre A.D. Respiration from coarse wood litter in central Amazon forests // Biogeochemistry. 2001. V. 52. P. 115–131.
10. Clark D.B., Clark D.A., Brown S., Oberbauer S.F., Veldkamp E. Stocks and flows of coarse woody debris across a tropical rain forest nutrient and topography gradient // Forest Ecology and Management, 2002. V. 64. P. 237–248.
11. Kahl T., Mund M., Bauhus J., Schulze E. Dissolved organic carbon from European beech logs: Patterns of input to and retention by surface soil // Écoscience, 2012. V.19. No. 4. P. 364–373.
12. Magnússon R.I., Tietema A., Cornelissen J.H.C., Hefting M.M., Kalbitz K. Tamm Review: Sequestration of carbon from coarse woody debris in forest soils // Forest Ecology and Management, 2016. V. 377. P. 1–15.
13. Moroni M.T., Morris D.M., Shaw C., Stokland J.N., Harmon M.E., Fenton N.J., Merganicová K., Mergani J., Okabe K., Hagemann U. Buried wood: a common yet poorly documented form of deadwood // Ecosystems, 2015. V. 18. P. 605–628.

14. Persoh D., Borken W. Impact of woody debris of different tree species on the microbial activity and community of an underlying organic horizon // Soil Biology & Biochemistry, 2017. V. 115. P. 516–525.
15. Russell M.B., Fraver S., Aakala T., Gove J.H., Woodall C.W., D'Amato A.W., Ducey M.J. Quantifying carbon stores and decomposition in dead wood: a review // Forest Ecology and Management. 2015. V. 350. P. 107–128.
16. Shorohova E., Kapitsa E. The decomposition rate of non-stem components of coarse woody debris (CWD) in European boreal forests mainly depends on site moisture and tree species // European Journal of Forest Research. 2016. V. 135. P. 593–606.
17. Shorohova E., Kapitsa E., Kuznetsov A., Kuznetsova S., Lopes de Gerenuy V., Kaganov V., Kurganova I. Decay classes of coarse woody debris in a lowland Dipterocarp forest: implications for volume, density, and carbon estimates // Biotropica. 2021. P. 1–9.
18. Stokland J.N., Siitonen J., Jonsson B.G. Biodiversity in dead wood // Cambrigde Univ. Press., 2012. 509 p.

THE ROLE OF COARSE WOODY DEBRIS IN SOIL FORMING PROCESSES IN BOREAL AND TROPICAL FORESTS

E. SHOROHOVA, E. KAPITSA

Key words: *woody detritus, carbon, decomposition, decay*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НАКОПЛЕНИЯ УГЛЕРОДА ОТДЕЛЬНЫМИ КОМПОНЕНТАМИ БИОГЕОЦЕНОЗА НА ЗАЛЕЖАХ С РАЗЛИЧНЫМИ ЛИТОЛОГИЧЕСКИМИ УСЛОВИЯМИ ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ В КАРГОПОЛЬСКОМ И ЛЕНСКОМ РАЙОНАХ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

Ю.Н. ШУМИЛОВА[1], Е.Н. НАКВАСИНА[2]

[1]Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства, г. Архангельск
[2]Северный Арктический федеральный университет имени М.В. Ломоносова, г. Архангельск

Ключевые слова: *залежи почв различных типов и возраста, лесные биогеоценозы, накопление углерода, средняя подзона тайги, старопахотные земли*

Как показали исследования, изъятие почвы из регулярного сельскохозяйственного оборота и перевод ее в залежь со сменой растительного покрова приводит к существенным изменениям в содержании углерода. Характер динамики запасов углерода зависят от ряда факторов (Литвинович и др., 2002; Гузэль, 1999; Чернов и др., 1997; Литвинович и др., 2011; Рыжова и др., 2014; Матинян и др., 2007). В нашем исследовании проведен сравнительный анализ накопления углерода отдельными компонентами биогеоценоза на одновозрастных залежах, сформировавшихся на разных типах почв в условиях средней подзоны тайги. В Каргопольском районе Архангельской области отобраны две пробные площади на залежах 16-летнего и 60-летнего возраста, сформировавшихся на азональных дерново-подзолистых остаточно-карбонатных почвах на карбонатной морене и известковой плите. В Ленском районе Архангельской области исследованы две пробные площади на залежах с возрастом образования 21 год и 60 лет на зональных бескарбонатных дерново-подзолистых почвах. Молодые залежи (16 и 21 год) покрыты луговой растительностью, используются под сенокос. Залежи старшего возраста (60 лет) в настоящее время не имеют хозяйственного использования, зарастают лесом. В Ленском районе у залежи 60-летнего возраста было промежуточное пользование в течение 20 лет под сенокос.

Анализ запасов углерода на одновозрастных залежах почв различных типов показал, что в общем и целом сохраняются закономерности зарастания и накопления органического углерода в старопахотных землях, подчеркнутые нами и другими авторами:

1. молодые залежи, покрытые луговой растительностью, накапливают углерод преимущественно в почвах и живом напочвенном покрове;
2. залежи старшего возраста, заросшие лесом, аккумулируют углерод в древостое;
3. для подроста и подлеска характерны наименьшие доли углерода;
4. лесная подстилка формируется на залежах старшего возраста, процесс накопления углерода почвой на молодых залежах распространяется и на лесную подстилку старых залежей.

Анализируя общий запас углерода на залежах, необходимо отметить, что наиболее высокие показатели запасов углерода характерны для 60-летней залежи карбонатных почв. Для молодой залежи этот показатель меньше в 3,7 раза.

На дерново-подзолистых почвах общий запас углерода на залежах в 1,3 раза меньше, чем на карбонатных. На молодых и на 60-летних залежах дерново-подзолистых почв общий запас углерода в экосистеме почти одинаков.

Сравнительный анализ показал, что молодые залежи дерново-подзолистых почв накапливают больше углерода, концентрирующегося в пахотном горизонте, чем молодые залежи карбонатных почв, в 1,6 раза. Возможно, это связано с технологией сельскохозяйственного пользования: на бедных почвах больше вносили удобрения, в т.ч. навоза. Тогда как на залежах старшего возраста в 2 раза больше углерода накапливается на карбонатных почвах.

Выявленная закономерность объясняется тем, что в Ленском районе Архангельской области, где распространены дерново-подзолистые почвы, на протяжении 20 лет земля была отдана под сенокос. Сенокошение задержало развитие древесных и кустарниковых пород, которые, как известно, в большей степени способны накапливать углерод.

Структура общих запасов углерода на залежах, сформировавшихся на разных типах почв, имеет общие черты.

На молодых залежах 90% запаса углерода представлено углеродом почвы. Существенна доля углерода живого напочвенного покрова, в структуре общего запаса она составляет 4-9 %. Несмотря на различный состав залежей и историю их формирования, структура запасов углерода на молодых залежах разных типов почв сходна.

На залежах старшего возраста, сформировавшихся на разных типах почв, в структуре запасов углерода выявлены существенные различия, которые обусловлены не только типами почв, но и характером промежуточного пользования.

На залежах карбонатных почв к 60-летнему возрасту уже сложилась лесная обстановка, древостой способен накапливать значительные запасы углерода. На его долю в структуре запасов углерода приходится 77,8%. Доля почв в накоплении углерода составляет 16,5%.

На залежах, сформировавшихся на дерново-подзолистых почвах, к 60-летнему возрасту лесная обстановка еще не сложилась, древостой редкий, представлен молодняком с высотами 5-7 м, поэтому в структуре запасов углерода доля древостоя составляет 14%. Тогда как более 75% запаса углерода представлено углеродом почвы. Значителен запас углерода в живом напочвенном покрове, составляет 9,5%, обусловлен высоким травостоем из-за сенокосов.

Проведенные исследования позволили сделать следующие выводы:

1. на ранних стадиях сукцессии большое влияние на характер накопления углерода отдельными компонентами биогеоценоза оказывают технологии сельскохозяйственного пользования и внесения удобрений для повышения плодородия почв;
2. на залежах старшего возраста пул углерода зависит не столько от типа почв, сколько от характера сельскохозяйственного пользования. Сенокошение препятствует развитию лесной растительности и снижает надземный пул углерода. Это нивелирует влияние типа почв (наличия и отсутствия карбонатов);
3. на залежах до 60 лет более значима роль почвенного углерода, не зависимо от типа почв и хозяйственного пользования.

Исследования частично поддержаны грантом РФФИ и Правительства Архангельской области № 17-44-290111 и основаны на описаниях пробных площадей, входящих в Базу данных кафедры лесоводства и лесоустройства САФУ имени М.В. Ломоносова.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гузэль Н.И. Изменения почвенного покрова при зарастании бывших сельскохозяйственных земель на Карельском перешейке // Материалы по изучению русских почв. № 1. С. 22–25.
2. Литвинович А.В., Павлова О.Ю., Чернов Д.В. Изменение гумусового состояния дерново-подзолистой почвы при прекращении антропогенного воздействия // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2002. № 6. С. 26–28.
3. Литвинович А.В., Павлова О.Ю., Плылова И.А. Изменение состава растительного покрова, морфологического строения почвенного профиля, содержания и запасов гумуса в окультуренной дерново-подзолистой глееватой суглинистой почве в процессе постагрогенной эволюции // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. № 22. С. 74–77.
4. Матинян Н.Н., Бахметова К.А., Алексеев С.С. Постагрогенная трансформация почв, сформированных на контрастных по гранулометрическому составу породах // Гумус и почвообразование. С-Петербург - Пушкин, 2007. С. 52–60.
5. Рыжова И.М., Ерохова А.А., Подвезенная М.А. Динамика и структура запасов углерода в 5. постагрогенных экосистемах южной тайги // Почвоведение. № 12. С. 1426–1435.
6. Чернов Д.В., Кириллов Д.В. Содержание и запасы гумуса в дерново-подзолистых суглинистых залежных почвах // Гумус и почвообразование. С-Петербург, 1997.

COMPARATIVE ANALYSIS OF CARBON ACCUMULATION BY INDIVIDUAL COMPONENTS OF BIOGEOCENOSIS ON DEPOSITS WITH DIFFERENT LITHOLOGICAL CONDITIONS OF SOIL FORMATION IN THE KARGOPOL AND LENSKY DISTRICTS OF THE ARKHANGELSK REGION

Yu.N. SHUMILOVA, E.N. NAKVASINA

Key words: *carbon accumulation, forest ecosystems, post-agrogenic lands, soil deposits of various types and ages, middle taiga subzone*

ЭМИССИЯ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА С ПОВЕРХНОСТИ НАРУШЕННЫХ РУБКАМИ ПОЧВ ЗАПАДНОГО КАВКАЗА

А.К. ШХАПАЦЕВ[1], В.П. СОЛДАТОВ[2], К.Ш. КАЗЕЕВ[2]

[1]Майкопский государственный технологический университет, г. Майкоп
[2]Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону

***Ключевые слова**: антропогенное воздействие, биодиагностика, биологическая активность, дыхание почв, сукцессии*

Рост концентраций углекислого газа приводит к повышению внимания к возможностям его депонирования. В фитомассе сосредоточены значительные объемы органических соединений углерода. Почвенный гумус является еще более устойчивым источником депонирования углерода. Эмиссия углекислого газа из почвы является одним из наиболее значительных его источников в атмосфере. В настоящее время в мировой литературе существует разные взгляды на экосистемного сток CO_2. Различия в оценках углеродного баланса объясняются разными подходами и методами определения отдельных его статей, а также уровнем неопределенностей полученных результатов (Кудеяров, 2018). Интенсивность почвенного дыхания определяется множеством факторов, включая тип почвы, запас органических веществ, уровень грунтовых вод, тип растительности (Мокриков и др., 2019). Дыхание обладает значительным пространственным и временным варьированием в зависимости от биотических и абиотических параметров среды (Карелин и др., 2019). Интенсивность эмиссии тесно связана с ее температурой (Davidson, Janssens, 2006; Иванов и др., 2018; Осипов, 2018). Значительное воздействие оказывает и влажность почвы. Низкая влажность почв тормозит биологические процессы (Казеев и др., 2015а,б). Однако всплески эмиссии CO_2, индуцированные увлажнением сухих почв, приводят к увеличению общей эмиссии CO_2 наблюдений на 8–10% (Лопес де Гереню и др., 2018). Это обусловлено эффектом Бирча (Birch, 1958), связанным с кратковременной, но мощной минерализацией органических веществ в почве и импульсным выделением CO_2 в ответ на увлажнение после ее длительного иссушения.

Мониторинг экологического состояния почв Западного Кавказа регулярно проводится с 2008 года на учетных площадках, расположенных в Краснодарском крае и Республике Адыгея. Особое внимание уделено эволюции почв после сведения леса. Для этого изучали хроноряды почв разного срока после рубки леса. Среди объектов были самозарастающие вырубки на дерново-карбонатных, серых и бурых лесных почвах низкогорий и среднегорий Кавказа, описанных в литературе (Вальков и др., 2008; Казеев и др., 2021) Среди множества определяемых параметров (физические, химические, биологические) исследована интенсивность выделения углекислого газа с поверхности почв (Казеев и др., 2016). Для этого использованы камерные методы и разные виды газоанализаторов (ПГА-7, Testo-535, EGM-5 PP System).

В результате проведенных исследований был получен большой фактический материал, позволяющий сделать некоторые обобщения. Было выявлено существенное варьирование эмиссии углекислого газа с поверхности почв, имеющих разную степень нарушений после рубки леса. Спустя 11 лет после сведения леса на участках сильного и среднего нарушения значения интенсивности дыхания дерново-карбонатных почв были существенно ниже (на 39-56%), чем на контрольном участке буково-пихтового леса. В то же время на периферийном участке вырубки со слабым нарушением дыхание было выше на 18 %. Однако в течение сезона иногда интенсивность дыхания на всех участках вырубки может превышать

контрольные значения независимо от степени нарушения. Причинами повышенных значений дыхания почвами вырубок могут быть как гидротермические условия, так и развитие восстановительных сукцессий, сопровождающихся развитием дернового процесса под высокотравной растительностью через несколько лет после рубки. В наших исследованиях в первые годы после рубки биологические процессы в почвах были подавлены. В некоторых случаях древесные остатки, оставшиеся на поверхности почв в результате рубки леса, могут существенно повышать интенсивность дыхания почв (Adamczyk et al., 2015; Молчанов и др., 2017). Восстановительные сукцессии исследуемых территорий Западного Кавказа сопровождаются повышением биологического разнообразия. Особенно это касается периферийных участков вырубок, где кроме повышения разнообразия происходит повышение гумусированности почв и их биогенности по сравнению с фоновыми участками лесов (Казеев и др., 2021). Такие процессы могут происходить не только после рубок, но и после других нарушений. А. В. Иванов с соавторами (2018) установил, что пирогенная трансформация кедровых лесов в малоценные дубняки приводит к повышению эмиссии CO_2 из почвы. Но в условиях черноморского побережья Кавказа постпирогенные почвы не восстанавливают биологическую активность и спустя 10 лет после пожара (Kazeev at al., 2019).

Исследования проведены при финансовой поддержке ведущей научной школы Российской Федерации (НШ- 2511.2020.11).

ЛИТЕРАТУРА

1. Азаренко (Мясникова) М.А., Казеев К.Ш., Ермолаева О.Ю., Колесников С.И. Изменение растительного покрова и биологических свойств черноземов в постагрогенный период // Почвоведение. 2020. № 11. С. 1412–1422.
2. Вальков В.Ф., Казеев К.Ш., Колесников С. И. Почвы Юга России. Ростов-на-Дону: Изд-во Эверест, 2008. 276 с.
3. Иванов А.В., Браун М., Татауров В.А. Сезонная и суточная динамика эмиссии CO_2 из почв кедровых лесов южного Сихотэ-Алиня // Почвоведение. 2018. №6. С. 297–303.
4. Казеев К.Ш., Козунь Ю.С., Колесников С.И. Использование интегрального показателя для оценки пространственной дифференциации биологических свойств почв юга России в градиенте аридности климата // Сибирский экологический журнал. 2015а. Т. 22. № 1. С. 112–120.
5. Казеев К.Ш., Козунь Ю.С., Самохвалова Л.С., Колесников С.И. Влияние аридности и континентальности климата на биологические свойства почв в трансекте Ростов-на-Дону - Астрахань // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2015б. № 5. С. 46–53.
6. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Акименко Ю.В., Даденко Е.В. Методы биодиагностики наземных экосистем. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2016. 356 с.
7. Казеев К.Ш., Солдатов В.П., Шхапацев А.К., Шевченко Н.Е., Грабенко Е.А., Ермолаева О.Ю., Колесников С.И. Изменение свойств дерново-карбонатных почв после сплошной рубки в хвойно-широколиственных лесах Северо-Западного Кавказа // Лесоведение. 2021. № 4.С. 426–436.
8. Карелин Д.В., Азовский А.И., Куманяев А.С., Замолодчиков Д.Г. Значение пространственного и временного масштаба при анализе факторов эмиссии CO2 из почвы в лесах Валдайской возвышенности // Лесоведение. 2019. № 1. С. 29–37.
9. Кудеяров В.Н. Дыхание почв и биогенный сток углекислого газа на территории России (аналитический обзор) // Почвоведение. 2018. № 6. С.643–658.

10. Лопес де Гереню В.О., Курганова И.Н., Хорошаев Д.А. Влияние контрастных режимов увлажнения на эмиссию CO_2 из серой лесной почвы под сеяным лугом и чистым паром // Почвоведение. 2018. № 10. С. 1244–1258.
11. Мокриков Г.В., Казеев К.Ш., Мясникова М.А., Акименко Ю.В., Колесников С.И. Влияние технологии прямого посева на почвенную мезофауну, дыхание и ферментативную активность черноземов южных // Агрохимический вестник. 2019. №5. С. 31–36.
12. Молчанов А.Г., Курбатова Ю.А., Ольчев А.В. Влияние сплошной вырубки леса на эмиссию CO_2 с поверхности почвы // Известия РАН. Серия биологическая. 2017. № 2. С 190–196.
13. Осипов А.Ф. Влияние межгодовых различий метеорологических характеристик вегетационного периода на эмиссию CO_2 с поверхности почвы среднетаежного сосняка бруснично-лишайникового (Республика Коми) // Почвоведение. 2018. № 12. С. 1455–1463
14. Adamczyk B., Adamczyk S., Kukkola M., Tamminen P., Smolander A. Logging residue harvest may decrease enzymatic activity of boreal forest soils // Soil Biology and Biochemistry. 2015. V. 82. P. 74–80.
15. Birch H.F. Mineralisation of plant nitrogen following alternate wet and dry conditions // Plant Soil. 1964. V. 20. P. 43–49. DOI: 10.1016/S0038-0717(97)00052-7
16. Davidson E.A., Janssens I.A. Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. Nature. 2006. V. 440. P. 165–173.
17. Kazeev S., Poltoratskaya T.A., Yakimova A.S., Odobashyan M.Yu., Shkhapatsev A.K., Kolesnikov S.I. Post-fire changes in the biological properties of the brown soils in the Utrish state nature reserve (Russia) // Nature Conservation Research. Заповедная наука 2019. V. 4 (Suppl.1). P. 93–104.

CARBON DIOXIDE EMISSION FROM THE SURFACE OF SOILS DISTURBED BY FELLING IN THE WESTERN CAUCASUS

A.K. SHKHAPATSEV, V.P. SOLDATOV, K.Sh. KAZEEV

Key words: *biodiagnostics, biology activity, soil respiration, successions, anthropogenic impact*

Ответственность за правильность, точность и корректность цитирования, ссылок и перевода, достоверность информации и оригинальность представленных материалов несут их авторы.

Материалы представлены в авторской редакции.

Электронное издание, не имеющее печатных аналогов.

ISBN 978-5-6047075-0-0