

ФОРМИРОВАНИЕ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ НА ПОСТТЕХНОГЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ В ТАЕЖНОЙ ЗОНЕ



РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
УРАЛЬСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
КОМИ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ

**ФОРМИРОВАНИЕ
ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ
НА ПОСТТЕХНОГЕННЫХ
ТЕРРИТОРИЯХ
В ТАЕЖНОЙ ЗОНЕ**

Ответственный редактор
д.б.н. И.Б. Арчегова

Сыктывкар 2015

УДК 630*182:581.524.3(1-924.82)

Формирование лесных экосистем на посттехногенных территориях в таежной зоне / Под ред. И.Б. Арчеговой. Сыктывкар, 2015. 140 с. (Коми НЦ УрО РАН).

В монографии обобщены результаты многолетнего изучения в таежной зоне на северо-востоке европейской части России особенностей восстановления нарушенных (посттехногенных) природных экосистем в процессе самовосстановительной сукцессии. Показана функциональная взаимосвязь изменения растительного сообщества и освоенного им субстрата (почвы) в соответствии с этапами сукцессии. Приведены результаты изучения элементов биологического оборота органического (растительного) вещества.

По материалам комплексных исследований обобщены современные теоретические аспекты почвообразования, определен статус почвы как неотъемлемой части экосистемы.

На основе разработанной концепции ускоренного (управляемого) «природовосстановления» рассмотрена система практических приемов восстановления нарушенных территорий, географически ориентированная на конкретные региональные условия.

Книга представляет интерес для широкого круга специалистов: экологов, почвоведов, геоботаников, лесоводов, географов, а также преподавателей, студентов естественных дисциплин университетов.

Библ. 85. Табл. 42. Рис. 26.

Авторы

И.Б. Арчегова, Е.Г. Кузнецова, И.А. Лиханова, А.Н. Панюков,
Ф.М. Хабибуллина, Ю.А. Виноградова

Ответственный редактор д.б.н. И.Б. Арчегова

Рецензенты

д.б.н. К.С. Бобкова, к.б.н. Т.В. Новаковская

Работа выполнена при поддержке Правительства Республики Коми и РФФИ, проект № 3-04-98818 «Ускоренное восстановление лесных экосистем на посттехногенных территориях таежной зоны Республики Коми».

ISBN 978-5-89606-545-6

© Институт биологии
Коми НЦ УрО РАН, 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
Глава 1. Объекты и методы, природные условия районов исследований	7
Глава 2. Самовосстановительная сукцессия на техногенном субстрате и после выборочной рубки	14
Глава 3. Характеристика биологической активности почвы на объектах исследований	50
Глава 4. Химический состав кроновых, приствольных и лизиметрических вод	66
Глава 5. Теоретические аспекты почвообразования	88
Глава 6. Ускоренное восстановление лесных экосистем на нарушенных землях в подзоне крайнесеверной тайги	101
Заключение	129
Литература	134

ВВЕДЕНИЕ

Во второй половине XX в. человечество стало осознавать, что его воздействие на природную среду достигло критического состояния. Все возрастающие темпы сельскохозяйственного освоения, промышленной добычи природных ресурсов уже превысили несущую емкость природных экосистем, т.е. биологическое равновесие биосферы как саморегулирующейся системы не сохраняется, что грозит катастрофическими экологическими последствиями (Горшков, 1987, 1995; Лосев, 2010).

Понимание необходимости сохранения целостности биосферы как системы, обеспечивающей благоприятную среду жизни человека и всего биологического комплекса, побуждало общество к активной природоохранной деятельности международного масштаба. Так, в 1972 г. в Стокгольме впервые на конференции ООН по проблемам окружающей среды было рекомендовано разработать и принять Программу о международной природоохранной деятельности. Для ее выполнения в 1984 г. начата работа международной комиссии по окружающей среде под руководством Г.Х. Брундтландт. Результатом трехлетней работы комиссии стал доклад «Наше общее будущее», в котором заявлялось о необходимости перехода к устойчивому развитию, что означало удовлетворение потребностей текущих и сохранение природных условий для будущих поколений. Достижение цели осуществляется природоохранной деятельностью по трем направлениям – обеспечение экоцелостности, экоэффективности и экосправедливости. Принцип устойчивого развития получил широкое признание и был принят в качестве глобальной стратегии. В 1996 г. издан Указ Президента Российской Федерации об утверждении концепции перехода к устойчивому развитию. Оно определялось как «модель сбалансированного решения социально-экономических проблем совместно с проблемами сохранения благоприятной окружающей среды с целью удовлетворения потребностей нынешнего и будущих поколений».

Решение экологических проблем сохранения целостности биосферы, биологического равновесия должно опираться на поддержание баланса устойчивого оборота веществ в биосистеме. Иными словами, необходимо обеспечивать устойчивое воспроизводство слагающих биосферу ее структур (экосистем). Становится очевидным, что для поддержания деятельности биосферы как саморегулирующейся системы требуется возврат в нее разрушенных экосистем после их восстановления, конечно, с учетом конкретных природных (геогра-

фических) условий. Таким образом, комплексное изучение процесса самовосстановления экосистем после антропогенного воздействия при разнообразии географических условий приобретает важное значение.

Одним из регионов в России, где весьма активно на севере таежной зоны и в Заполярье ведется добыча угля, нефти, газа, бокситов и др., является Республика Коми. При вовлечении в активное промышленное освоение ресурсов Севера (таежная, тундровая зоны) следует учитывать особенности строения северных экосистем, их повышенную уязвимость к техногенным воздействиям и медленное самовосстановление, что требует особых теоретических подходов и практических разработок.

В Институте биологии Коми НЦ УрО РАН под руководством д.б.н. И.Б. Арчевой ведутся исследования состояния экосистем на северных территориях, его изменения при техногенном (антропогенном) воздействии. Эти работы имеют важнейшее значение для создания как теоретической базы, так и системы практических приемов восстановления разрушенных природных экосистем на Севере. Методологический подход основан на принципе системности, в соответствии с которым природная экосистема рассматривается как целостное образование, состоящее из взаимосвязанных и взаимообусловленных структур: биоты (растительного сообщества, фаунистически-микробного комплекса, трансформирующего органические растительные остатки) и осваиваемого биотой посттехногенного субстрата, преобразуемого в новообразованную почву. Компоненты экосистемы связывает в целостное образование механизм биологического оборота органического вещества и энергии. Сопряженные исследования позволяют оценить роль каждого из этих компонентов в формировании таежных экосистем, изучить их взаимосвязь и взаимовлияние, роль в биосфере.

В настоящей книге обобщены результаты многолетних комплексных исследований восстанавливающихся лесных экосистем на европейском северо-востоке России (территория Республики Коми), обсуждены выявленные закономерности функциональной связи биоты и осваиваемого ею посттехногенного субстрата в процессе самовосстановительной сукцессии в природно-климатических условиях таежной зоны. На основе анализа результатов исследования самовосстановительной сукцессии на посттехногенных территориях обоснованы некоторые теоретические аспекты почвообразования, показана главная роль биологического фактора в формировании почвы и ее разнообразия.

Рассмотрены практические приемы, позволяющие ускорить процесс самовосстановления разрушенных природных экосистем. Обсуждаются некоторые аспекты экологических проблем сохранения биологического равновесия в биосфере, устойчивого развития хозяйственной деятельности.

Коллективная монография написана сотрудниками отдела почвоведения Института биологии Коми НЦ УрО РАН: введение и за-

ключение – И.Б. Арчевой; глава 1 – И.Б. Арчевой, Е.Г. Кузнецовой; глава 2 – И.Б. Арчевой, И.А. Лихановой, Е.Г.Кузнецовой, Ф.М. Хабибуллиной, Ю.А. Виноградской, А.Н. Панюковым; глава 3 – И.А. Хабибуллиной, Ю.А. Виноградской, И.Б. Арчевой; глава 4 – Е.Г. Кузнецовой, И.Б. Арчевой, глава 5 – И.Б. Арчевой; глава 6 – И.А. Лихановой, И.Б. Арчевой.

Авторы выражают благодарность инженеру-химику I категории Н.А. Васильевой, старшему лаборанту О.А. Останиной, ведущему инженеру-химику Т.В. Зоновой, старшему лаборанту В.П. Кириенко отдела почвоведения, а также ведущим инженерам-химикам: В.В. Ситниковой, Ж.А. Лыткиной, Т.С. Сытарь, Л.А. Антоненц, ведущему инженеру-электронику лаборатории «Экоаналит» А.Н. Низовцеву Института биологии Коми НЦ УрО РАН за выполнение аналитических работ и помощь при подготовке книги.

Глава 1 ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ, ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ РАЙОНОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объекты и методы исследования

Исследования в подзоне средней тайги проводили на стационарном участке, расположенном в 17 км к юго-западу от г. Сыктывкара, вдоль автотрассы Сыктывкар–Киров (61°34' с.ш., 50°38' в.д.), в подзоне крайнесеверной тайги – в Усинском районе (66°16' с.ш., 57°16' в.д.).

Подзона средней тайги. Коренными типами растительных сообществ являются ельники зеленомошные и чернично-зеленомошные. Территория, окружающая участок, подвержена довольно сильному антропогенному воздействию (дорожное строительство, рубка леса и др.). В связи с этим значительное участие в растительном покрове мелколиственных лесов. В почвенном покрове преобладают подзолистые почвы.

Наблюдения осуществляли на четырех постоянных пробных площадях (ПП) размером 400 м² каждая. ПП 1 расположена на расстоянии около 10 м от автотрассы Сыктывкар – Киров. Растительность и почва формируются на техногенном суглинистом субстрате, оставшемся после реконструкции автодороги. Здесь на ровной поверхности за 23–24 года в процессе самовосстановительной сукцессии сформировалось многолетнее разнотравно-злаковое сообщество, в последние 15–20 лет развивается следующий этап самовосстановительной сукцессии, происходит замещение травянистого сообщества на лесное в результате естественного возобновления быстрорастущих древесных растений (береза, сосна, ивы и др.).

По другую сторону дороги на расстоянии около 50 м от ПП 1 в верхней части пологого склона к ручью находятся ПП 2 и 3 по 400 м² каждая в мелколиственных насаждениях возрастом около 100 лет, характеризующем стадию самовосстановительной сукцессии после выборочных рубок в ельнике зеленомошном. ПП 2 заложена в березняке разнотравном, состав древостоя 8Б2Е, ПП 3 – в осиннике разнотравном, состав древостоя 5Ос3Е2Б.

Таким образом, изучали два варианта самовосстановительной сукцессии лесной экосистемы: **вариант 1** – на посттехногенном субстрате с начального этапа развития природной лесной экосистемы, и **вариант 2** – после нарушения хозяйственными выборочными рубками естественного лесного сообщества, сопровождающегося при самовосстановлении смесью хвойных пород на мелколиственные.

ПП 4 расположена на вершине пологого склона в ельнике чернично-зеленомошном, в 1 км от ПП 1–3. Состав древостоя 8Е1С1Б. Ельник представляет собой зональный тип лесной экосистемы.

Геоботанические описания выполняли по общепринятым в геоботанике и лесной типологии методикам (Корчагин, 1964). При описании нижних ярусов использовали методику В.С. Ипатова (1998) с применением предложенной им шкалы господства:

Господство основная шкала	+	р	–	н	–	с	–	г
Вспомогательная шкала	–	–	р-н	–	н-с	–	с-г	–
Относительное покрытие	до 1%	1–5%	около 5%	5%–1/3	около 1/3	1/3–2/3	около 2/3	2/3 и больше

Примечание: + (ед) – вид присутствует единично (оценить участие в % невозможно), р – редко, н – наполнитель, с – согосподствует, г – господствует; 1/3, 2/3 – доля от общего проективного покрытия (ОПП).

Определение растений проводили по сводке «Флора Северо-Востока европейской части СССР» (1974, 1976, 1977). Названия сосудистых растений даны в соответствии с системой, предложенной С.К. Черепановым (1995). Для установления биологической продуктивности применяли метод учетных площадок (Родин и др., 1967). Опад древесного яруса учитывали с использованием опадоуловителей (14-кратная повторность, 50×50 см) два раза в год (третья декада мая и октября). Опад травяного яруса определяли методом укусов с мелких площадок размером 50×50 см (10-кратная повторность). Массу подстилки учитывали металлическим шаблоном (буром) площадью 98 см² (25-кратная повторность).

Для определения скорости разложения растительной отмирающей массы на ПП 1–4 были заложены полевые опыты. Навеску 5 г воздушно-сухого растительного материала в мешочках из капроновой сетки с ячейками 1 мм закладывали на год (с 8.10.10 г. по 19.10.11 г.) в трехкратной повторности. Их раскладывали на поверхности органогенного слоя почвы.

После окончания опыта образцы в воздушно-сухом состоянии взвешивали, определяя по разности в весе процент разложения (Андреяшкина, 1985). Для опыта использовали массу отмирающих растений (их частей) видов, составляющих травяно-кустарничковый ярус, а также опад растений древесного яруса.

Анализ образцов почв (определение рН, содержания $S_{\text{орг.}}$, обменных Ca^{2+} , Mg^{2+} , $N_{\text{гидр.}}$, P_2O_5 , K_2O) проводили по общепринятым методикам (Агрохимические методы..., 1975; Теория и практика..., 2006). Состав гумуса определяли по И.В. Тюрину в модификации В.В. Пономаревой и Т.А. Плотниковой (Методические указания..., 1975).

Для микробиологического анализа использовали смешанные пробы почвы из 10 индивидуальных образцов, которые отбирали в течение вегетационного периода из органогенного и верхнего минерального горизонтов почв. Количество разных групп микроорганизмов выявляли методом разведения почвенной суспензии с последующим высевом ее на агаризованные питательные среды. Численность аммонификаторов в образцах учитывали на мясо-пептонном агаре (МПА), нитрификаторов – на крахмально-аммиачном агаре (КАА), сахаролитиков – на среде Чапека, целлюлозолитиков – на среде Гетчинсона (с целлюлозой на поверхности среды), олигокарбофилов – на среде Виноградского, олигонитрофилов – среде Эшби. Повторности навесок из смешанного образца для каждой использованной среды и чашек Петри при посевах трехкратные. Идентификацию микроскопических грибов после выделения их в чистую культуру проводили по определителям для различных таксономических групп (Милько, 1974; Ramirez, 1982; Ainsworth..., 1995; Domsh et al., 2007). Комплексы микромицетов почв характеризовали на основе относительного обилия и встречаемости видов (Мирчинк, 1988).

Общее количество микроорганизмов определяли методом люминесцентной микроскопии. Для одного образца готовили 12 препаратов. Для подсчета бактерий и мицелия актиномицетов их окрашивали раствором акридиана оранжевого (1:10000 в течение 2–3 мин), для учета спор и мицелия грибов – калькофлюором белым в течение 15 мин. Расчет количества клеток (мицелия) на 1 г почвы проводили по стандартной формуле (Методы почвенной микробиологии..., 1991):

$$N = S_1 a n / v S_2 c,$$

где N – число клеток (длина мицелия, мкм) на 1 г почвы; S_1 – площадь препарата (мкм²); a – количество клеток, длина мицелия (мкм) в одном поле зрения (усреднение производится

по всем параметрам); n – показатель разведения почвенной суспензии (мл); v – объем капли, наносимой на стекло (мл); S_2 – площадь поля зрения микроскопа (мкм²); c – навеска почвы (г).

При расчете биомассы учитывали, что биомасса сухого вещества для одной бактериальной клетки объемом 0.1 мкм³ составляет $2 \cdot 10^{-14}$ г, 1 м актиномицетного мицелия диаметром 0.5 мкм – $3.9 \cdot 10^{-8}$, с учетом замеренного диаметра для грибного мицелия – $0.628 \text{ г} \cdot 2 \cdot 10^{-6}$, для споры – $0.083 \text{ г} \cdot 3 \cdot 10^{-11}$ г.

Исследовали химический состав атмосферных осадков. Анализировали воды, проникающие под кроны древесных растений (кроновые), стекающие по стволам деревьев (приствольные), а также лизиметрические воды, собираемые под органоминеральными и верхним минеральным горизонтами почв. Для сбора были установлены пластмассовые сосуды с воронками диаметром 12 см в трехкратной повторности. В почве под гор. А0, А0А1, АдерА1, а также под верхним минеральным горизонтом на глубине 8–10 см были заложены в трех повторностях лизиметры – сосуды с воронками, водосборная площадь которых составляла 50 см². Сбор вод осуществляли в начале (конец мая–начало июня) и конце (конец сентября – начало октября) вегетации, кроме того, кроновые воды собирали летом после сильных дождей (преимущественно в июле).

В водах определяли рН и содержание веществ, которые играют важную роль в питании растений – NH_4^+ , NO_3^- , PO_4^{3-} , $\text{C}_{\text{орг.}}$, K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , и возможных загрязнителей – SO_4^{2-} , Cl^- . Величину рН определяли потенциометрически, содержание NH_4^+ , NO_3^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , – фотометрически, Cl^- – меркурометрически, K^+ – на спектрометре SP-90А (Великобритания), Ca^{2+} , Mg^{2+} – на атомно-адсорбционном спектрофотометре фирмы Hitachi (Япония), $\text{C}_{\text{орг.}}$ – по Тюрину.

Статистическую обработку данных проводили с использованием программ STATISTICA 6.0 и Excel 2000.

Подзона крайнесеверной тайги. Исследования проводились на опытных участках в Усинском р-не. Опыты были заложены на территории выработанного песчаного карьера и на песчаных отсыпках буровых скважин. Характеристика приемов восстановления лесных экосистем приведена в главе 6. Следует отметить, что изучение растительного покрова на опытных участках вели, как и в подзоне средней тайги, по общепринятым в геоботанике методам (Жорчагин, 1964), изучение высаженных древесных пород – по В.В. Огиевскому и А.А. Хирову (1964).

Методологически исследования опираются на принцип системности, с позиций которого природная экосистема представляет собой целостное единство функционально связанных компонентов – биоты (растительного сообщества, соответствующего микробного пула, трансформирующего растительные остатки) и освоенного биотой субстрата (т.е. почвы).

Краткая характеристика природных условий

Подзона средней тайги. Климат района исследований – умеренно-континентальный, характеризуется длительной холодной зимой с устойчивым снежным покровом и коротким прохладным летом. Среднегодовая температура воздуха составляет $+0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Научно-прикладной справочник..., 1989). Отрицательные температуры наблюдаются 190–205 дней в году. Средняя продолжительность вегетационного периода (температура воздуха превышает $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$) длится от 90 до 105 дней. Наиболее холодные зимние месяцы – январь (средняя температура $-15.1\text{ }^{\circ}\text{C}$) и февраль ($-13.9\text{ }^{\circ}\text{C}$). Средняя температура самого теплого месяца июля $+16.6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Абсолютный годовой минимум температуры $-49\text{ }^{\circ}\text{C}$ (табл. 1).

Осадки выпадают преимущественно в теплый период года, годовая сумма составляет 514 мм. В течение зимы сохраняется устойчивый снежный покров, высота которого к концу марта на открытых местах в среднем составляет 55 см, в лесу – 70 см.

Территория представляет собой холмисто-увалистую моренную равнину с преобладанием абсолютных высот 140–160 м над ур.м. Гидрологическая сеть территории относится к бассейну р. Вычегда. Приречные склоны р. Сысола – основного водотока района, рассечены ее многочисленными притоками.

По геоботаническому районированию территория относится к Вычегодско-Мезенской подпровинции подзоны средней тайги (Юдин, 1954).

Коренным типом растительности на рассматриваемой территории являются ельники зеленомошные. В связи с усилением хозяйственного использования со второй половины XX в. уменьшились площади коренных хвойных лесов на значительной части территории Республики Коми. В результате экзогенных сукцессий произошла смена пород – на вырубках сформировались смешанные или почти чистые насаждения лиственных пород – березы и осины.

Таблица 1

**Основные многолетние показатели климата
(метеостанция «Сыктывкар»)**

Показатель	Параметр
Среднегодовая температура воздуха, °С	+0.4
Средняя температура воздуха, °С:	
самого теплого месяца (июль)	+16.6
самого холодного месяца (январь)	-15.1
Абсолютный годовой, °С	
максимум	+36
минимум	-49
Продолжительность периода (в днях) со среднесуточной температурой воздуха выше:	
0 °С	180
+5 °С	140
+10 °С	95
+15 °С	40
Продолжительность безморозного периода, дни	90
Сумма положительных температур воздуха, °С	1907
Сумма температур воздуха выше 10 °С	1454
Глубина промерзания почвы, см	83
Мощность снежного покрова, см	60
Годовая сумма осадков, мм	514
Годовой коэффициент увлажнения по Н.И. Иванову*	1.15

* Коэффициент увлажнения (КУ) по Н.И. Иванову представляет собой отношение количества осадков к испаряемости.

Почвообразующими породами являются преимущественно пылеватые покровные суглинки, подстилаемые моренными суглинками, а также песчаные и супесчаные породы, подстилаемые суглинками (двучлены).

На территории района распространены почвы подзолистого, болотно-подзолистого и болотного типов.

Подзона крайнесеверной тайги. Исследования возможности и способов восстановления лесных экосистем проведены в Усинском р-не Республики Коми, который характеризуется суровыми климатическими условиями. Среднегодовая температура воздуха составляет -3.2 °С. Наиболее холодный месяц – январь, со среднемесячной температурой -18.4 °С. Снежный покров залегает 200 дней, его средняя высота – 48 см. Длительность периода со среднесуточной температурой выше $+5$ °С – 110 дней. Среднемесячная температура воздуха в июле, самом теплом месяце, $+13.8$ °С. За год выпадает в среднем 474 мм осадков, из них за вегетационный период (июнь-август) – 159 мм (Научно-прикладной справочник..., 1989).

Для растительности рассматриваемого района, расположенного в подзоне крайнесеверной тайги, характерно господство лесов, перемежающихся с крупными болотными массивами, 10% площади занято тундровой растительностью (Юдин, 1954). Преобладают редкостойные еловые, елово-березовые леса с сомкнутостью крон 0.3–0.5, высотой деревьев 8–15 м, бонитет V-Va. В составе древостоев значительно участие *Pinus sylvestris* и *Larix sibirica*. Наиболее широко распространены леса долгомошной группы типов, значительно менее – зеленомошной и сфагновой.

Почвообразующие породы представлены моренными суглинками и песчаными отложениями водно-ледникового происхождения. В районе исследований распространены болотно-подзолистые, глееподзолистые, тундрово-болотные и болотные торфяные почвы (Подзолистые почвы..., 1981).

Глава 2. САМОВОССТАНОВИТЕЛЬНАЯ СУКЦЕССИЯ НА ТЕХНОГЕННОМ СУБСТРАТЕ И ПОСЛЕ ВЫБОРОЧНОЙ РУБКИ

Изменение растительного сообщества и почвы на этапе замещения травянистой экосистемы древесными растениями (вариант 1)

Самовосстановление разрушенного коренного типа леса имеет в таежной зоне тип сукцессии, в развитии которой последовательно выделяются стадии: травянистое сообщество, сменяющееся сообществом «временных», преимущественно мелколиственных древесных пород – березы, осины, ольхи серой, наконец, еловым лесом зонального типа (Шенников, 1964; Дегтева, 1996; Ипатов, Кирикова, 1997; Крышень, 2006 и др.).

Детальные стационарные исследования на ПП 1 начаты в 1994 г. уже на этапе сформированной травянистой экосистемы, представленной разнотравно-злаковым сообществом с преобладанием многолетних злаков – *Agrostis gigantea* Roth, *Phleum pratense* L., *Deschampsia cespitosa* (L.) Beauv., *Calamagrostis canescens* (Web.) Roth, и других типичных луговых видов с характерной примесью эксплерентов (сорно-рудеральных растений) – *Elytrigia repens* (L.) Nevski, *Taraxacum officinale* Wigg., *Tussilago farfara* L. и др. Сообщество было полидоминантным, господствующий вид не выделялся, однако преобладание луговых злаков определяло «луговой» тип экосистемы. Общее число видов трав – 42, общее проективное покрытие (ОПП) – 98%. Под травами развиты мхи. Их развитие активизируется, видимо, в весенний период на начальном этапе роста трав. Проективное покрытие мхов – более 40%. Продуктивность сообщества составляла 380–536 г/м², при этом основная доля приходилась на злаки – от 56 до 75%.

В соответствии с типом растительного сообщества техногенный субстрат приобрел определенное морфологическое строение по типу луговой почвы, диагностическим горизонтом

которой является горизонт дернины. Представление о почве дает приводимое описание.

На поверхности слой отмерших растительных остатков (ветошь).

Адерн.	0–2(5) см	суглинок легкий темно-серый, слабо уплотнен корнями растений, переход в следующий слой постепенный, ясный;
A1	2(5)–10 см	суглинок легкий, есть корни, темно-сери-буроватый, структура слабо выражена, переход к следующему слою ясный по цвету;
Слой III	10–20(30) см	суглинок средний (техногенный субстрат), темно-бурый, более плотный за счет утяжеления механического состава, глыбистый, корней нет. Глубже – без изменений, та же техногенная порода.

Почва – новообразованная одернованная суглинистая.

К началу наших наблюдений на участке уже были отмечены отдельные древесные растения: *Pinus sylvestris* L., *Betula pendula* Roth, *B. pubescens* Ehrh, *Populus tremula* L., *Salix caprea* L. высотой 0.2–3 м. Однако еще устойчивое травянистое сообщество и отсутствие эдафического воздействия древесных растений на него обеспечивали травянистой системе стабильность и морфологическую устойчивость лугоподобной почве. Приведенное описание позволяет отметить, что органогенный слой в 1998 г. еще слабо дифференцирован на горизонты (дернины и гумусово-аккумулятивный).

В новообразованном органогенном (продуктивном) слое выделено бактерий 27 млн. КОЕ (колониеобразующих единиц)/1 г воздушно-сухой почвы (в.с.п.), 46 тыс. КОЕ/1 г в.с.п. микроскопических грибов. В составе микобиоты выделено 11 видов, преобладают целлюлозоразлагающие виды родов *Trichoderma* и *Chaetomium*. Для сравнения, в типичной дерново-луговой почве выделяется 32–40 видов микромицетов, при этом часто встречаются виды родов *Mucor* и *Fusarium* (Лаптева и др., 2000). Они отсутствуют в новообразованной почве, что свидетельствует о ее «молодости».

В полном соответствии с морфологическим строением почвы отмечена аккумуляция гумуса и некоторых элементов-биогенов в одернованном слое (табл. 2), в нем же сосредоточена основная масса корней растений.

При небольшом различии в содержании гумуса в биогенном слое довольно ясно проявляется качественное различие.

Таблица 2

**Результаты химического анализа новообразованной почвы
на техногенном субстрате**

Объект, глубина взятия образца, см	pH _{водн.}	Гумус, %	N _{гидр.}	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺
			мг/100 г в.с.п.			ммоль/100 г в.с.п.	
Адерн. 0-2(5)	6.2	2.8	3.4	14.7	5.0	3.7	3.2
А1 2(5)-9(10)	5.7	2.6	1.2	12.1	3.3	2.9	2.5
Слой III 9(10)-20	6.0	1.8	1.5	8.3	17.4	2.4	1.8
Слой IV 20-40	5.6	1.4	1.4	9.1	18.3	1.9	0.5

В дернине отчетливо преобладает аккумулятивная группа гумуса – 36% гуминовых кислот (ГК), особенно в ее составе 1 фракции новообразованных веществ. Содержание фульвокислот (ФК) в этом же горизонте наименьшее (табл. 3). Подвижные гумусовые вещества (ФК) накапливаются под дерновым горизонтом, что четко отражает величина отношения $C_{ГК}:C_{ФК} - 2.1$ в гор. Адерн., с глубиной резко снижающаяся до 0.6–0.7.

Как было отмечено выше, оформившаяся стадия травянистой экосистемы в процессе самовосстановительной сукцессии начала колонизироваться древесными растениями (*Betula pubescens*, *Pinus sylvestris*, видами *Salix*, и др.). Отдельные экземпляры древесных растений еще не оказывали заметного воздействия на экотоп (рис. 1). Однако уже через 10 лет (рис. 2) оформление древесного яруса становится заметным.

В 2008 г., на 14-й год наших наблюдений развития процесса замещения травянистой экосистемы на лесную, большая часть участка ПП 1 была занята группами (парцеллами) древесных растений. Высота деревьев достигала 3–6 м, сомкнутость крон в группах – 0.2–0.4. Вследствие изменения условий освещенности в травостое часть ранее произраставших видов нами не зафиксирована (*Calamagrostis canescens*, *Dactylis glomerata* L., *Poa palustris* L.), а другие несколько снизили

Таблица 3

**Состав гумуса новообразованной почвы на техногенном субстрате
(% от C_{орг.})**

Горизонт, глубина, см	C _{орг.} %	Фракция гуминовых кислот (ГК)				Фракция фульвокислот (ФК)				Нерас- творимый остаток	C _{ГК} : C _{ФК}	
		1	2	3	Σ	1а	1	2	3			Σ
Адерн. 0-2(5)	1.64	17.1	9.8	9.1	36.0	4.3	4.3	3.0	4.9	16.5	47.5	2.1
А1 2(5)-9(10)	1.52	13.1	3.9	8.5	25.5	3.9	9.9	4.6	15.8	34.2	40.3	0.7
Слой III 9(10)-20	1.02	14.7	5.9	3.9	24.5	4.9	10.8	4.9	16.7	37.3	38.2	0.6
Слой IV 20-40	0.83	8.4	2.4	0	10.8	4.8	8.4	1.2	12.0	26.4	62.8	0.4



Рис. 1. Колонизация многолетней травянистой экосистемы древесными растениями в ходе самовосстановительной сукцессии на техногенном субстрате (1999 г.).



Рис. 2. Состояние того же участка через 13 лет (2012 г.). Древесно-кустарниковые растения образуют группы (парцеллы).

обилие: *Leucanthemum vulgare* Lam, *Lathyrus pratensis* L., *Festuca pratensis* Huds, *Equisetum arvense* L., *Deschampsia cespitosa* (табл. 4). На поверхности почвы начала формироваться листовенно-травянистая подстилка.

Изменение состава и обилия видов растительного сообщества на ПП 1 позволяет констатировать переход самовосстановительной сукцессии на стадию формирования лесного сообщества в основном из мелколиственных древесных пород.

При этом важно отметить, что древесные растения размещаются группами (парцеллами), характеризующимися некоторыми отличиями состава травяного покрова. В частности, в парцелле березы в травяном покрове преобладают *Amoria repens* (L.) С. Presl. и *Equisetum arvense*. Отмечено появление некоторых лесных и опушечных видов – *Fragaria vesca* L., *Lathyrus vernus* (L.) Bernh, **невелико обилие рудеральных видов.**

К 2013 г. (начало третьего десятилетия самовосстановительного процесса) на ПП 1 сохранилась только часть многолетней травянистой экосистемы, имеющая форму узкой прерывистой полосы. ОПП на этой части травянистого сообщества составило 90%, число видов в травяном ярусе – 32 (табл. 4). Здесь доминируют, как и ранее, луговые злаки (*Agrostis gigantea*, *Phleum pratense*, *Deschampsia cespitosa*, *Calamagrostis canescens*) и разнотравье (*Lathyrus pratensis*, *Vicia cracca* L., *Leucanthemum vulgare*). На посттехногенное происхождение растительности травянистого участка еще указывает присутствие видов пионерных и сорных *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop, *Picris hieracioides* L., *Elytrigia repens* (L.) Nevski, *Taraxacum officinale*, *Tussilago farfara*. Нельзя не отметить наличия

Таблица 4

Изменение видового состава и обилия видов сосудистых растений
в процессе самовосстановительной сукцессии на техногенном субстрате (ПП 1)

Вид растений	1996 г.	2008 г.	2012 г.	2012 г.	2012 г.	2012 г.
	Обилие					
	Древесный ярус, состав в единицах					
<i>Betula pubescens</i>	5*	4	1 (7/3.5)**	1 (6/3.3)	3(3/1)	—
<i>Betula pendula</i>	—	—	1 (9.2/7.6) 3 (1.2–1.7)	1 (10/9) 2 (7–8/5–7) 4 (5–6/3)	21 (8/2–4) 50 (до 4/до 1)	1 (12/9.5) 12 (6–8/4–7) 52 (4/1)
<i>Picea obovata</i>	—	—	3 (0.7/1.3)	1 (0.7)	1 (6/4)	3 (0.3–0.6)
<i>Pinus sylvestris</i>	4	3	—	—	2 (12–13/16–20) 2 (10/6) 1 (6/3)	1 (10/12) 2 (5/2) 1 (0.6)
<i>Populus tremula</i>	1	1	—	1 (10/6.4)	1 (3/1)	1 (3/1) 1 (0.6)
<i>Salix caprea</i>	1	3	1 (4/2.4) 1 (5/3.6) 2 (2.5–3/1.6)	1 (10/7.4)	3 (8/3–4)	2 (10–12/4.5–5.6) 6 (6/2)
<i>S. myrsinifolia</i>	1	—	—	1 (5/4.8) 1 (1.7)	—	—
<i>S. pentandra</i>	1	1	—	1 с 8 побегами (8/6.4)	—	—
Сомкнутость	—	0.4	—	0.4	0.8–0.9	0.8
Число видов	6	5	4	7	6	5
	Травяно-кустарничковый ярус, удельное обилие					
Общее проективное покрытие, %	60–98	90	90	80	20–30	30–40
Высота, см	20–80	20–80	20–80	20–40	10–20	20–40
<i>Achillea millefolium</i>	ед	ед	р	—	—	ед
<i>Aegorodium podagrata</i>	ед	ед	—	—	—	—

Продолжение табл. 4

Вид растений	Обилие					
	1996 г.	2008 г.	2012 г. Луговое сообщество	2012 г. Ивовая парцелла	2012 г. Сосновая парцелла	2012 г. Березовая парцелла
<i>Agrostis gigantea</i>	н	н	н	н	р	р
<i>Aljuga reptans</i>	ед	—	р	р	ед	ед
<i>Alchemilla</i> sp.	ед	—	—	—	—	—
<i>Amaria repens</i>	—	—	р	р	ед	ед
<i>Angelica sylvestris</i>	—	—	р	—	—	—
<i>Artemisia vulgaris</i>	—	—	ед	ед	—	—
<i>Calamagrostis arundinacea</i>	ед	ед	—	н	ед	р
<i>C. canescens</i>	н	—	р	н	—	—
<i>Campanula patula</i>	—	—	р	—	—	—
<i>Carex nigra</i>	ед	—	—	—	—	—
<i>Cerastium holosteoides</i>	р	р	—	—	—	—
<i>Chamaenerion angustifolium</i>	р	р	—	н	ед	р
<i>Cirsium heterophyllum</i>	ед	ед	н	р	—	ед
<i>C. cetosum</i>	р	ед	н	ед	ед	—
<i>Dactylis glomerata</i>	ед-р	—	н	—	ед	—
<i>Dactylorhiza</i> sp.	ед	—	—	—	—	ед
<i>Deschampsia cespitosa</i>	н	ед	н	н	р	р
<i>Elytrigia repens</i>	р	р	—	—	—	—
<i>Equisetum arvense</i>	р-н	ед	—	н	—	—
<i>E. pratense</i>	ед	—	—	—	—	—
<i>E. sylvaticum</i>	н	н	н	н	р	н
<i>Euphrasia frigida</i>	—	—	р	—	—	—
<i>Festuca pratensis</i>	н	р	н	—	—	—
<i>Fragaria vesca</i>	—	ед	—	н	н	р
<i>Heracleum sibiricum</i>	—	—	—	ед	—	—
<i>Hieracium cymosum</i>	—	—	—	—	—	ед
<i>H. umbellatum</i>	ед	—	р	ед	р	р
<i>Lathyrus pratensis</i>	н	р	н	р	—	—
<i>L. vernus</i>	—	—	—	—	ед	р
<i>Leontodon autumnalis</i>	ед-р	ед	р	—	—	—
<i>Leucanthemum vulgare</i>	р-н	р	н	р	р	р

Окончание табл. 4

Вид растений	Обилие					
	1996 г.	2008 г.	2012 г. Луговое сообщество	2012 г. Ивовая парцелла	2012 г. Сосновая парцелла	2012 г. Березовая парцелла
<i>Melampyrum pratense</i>	ед	ед	—	—	—	—
<i>Onalothea sylvatica</i>	ед	—	—	—	—	ед
<i>Phalaroides arundinacea</i>	ед	—	р	—	—	—
<i>Phleum pratense</i>	н	н	н	—	—	—
<i>Picris hieracioides</i>	—	—	н	н	н	н
<i>Platanthera bifolia</i>	—	—	—	—	—	ед
<i>P. pratensis</i>	ед	р	р	р	—	—
<i>Prunella vulgaris</i>	р	р	н	н	н	р
<i>P. minor</i>	—	—	—	—	—	ед
<i>Ranunculus acris</i>	ед	ед	р	ед	—	ед
<i>R. propinquus</i>	ед	—	—	ед	—	ед
<i>Rhinanthus vernalis</i>	р	р	н	р	—	—
<i>Rubus saxatilis</i>	—	—	—	—	р	ед
<i>Rumex acetosa</i>	—	—	ед	—	—	—
<i>Solidago virgaurea</i>	—	ед	—	—	—	ед
<i>Stellaria graminea</i>	ед	ед	—	—	—	—
<i>Taraxacum officinale</i>	р	р	р	—	—	ед
<i>Trifolium medium</i>	ед-р	р	н	—	—	—
<i>T. pratense</i>	ед-р	н	н	—	—	ед
<i>Tussilago farfara</i>	р	р	н	—	—	—
<i>Veronica chamaedrys</i>	ед	р-н	р	р	р	ед
<i>V. officinalis</i>	—	—	—	—	р	ед
<i>Vicia sepium</i>	ед	р	р	—	—	—
<i>V. sylvatica</i>	—	ед	—	—	—	—
<i>Viola sapina</i>	—	—	р	—	р	р
Число видов	41	32	32	23	20	29
Общее проективное покрытие м- хового яруса, %	40-60	Не отмеч.	10-15	1	1	1

Примечание: * - экзemplяры на учетной площадке 25 м², ** - высота, м/диаметр стволов, см.

мхов, ОПП которых составляет 10–15%. Важно, что видовое разнообразие еще определяется луговыми видами, а также лесными и опушечными – *Equisetum sylvaticum* L., *Ajuga reptans* L., *Aegopodium podagraria* L.

Почва под травянистым сообществом еще сохраняет общие морфологические черты, ранее сформированные многолетним травянистым сообществом. Однако изменение его видового состава (снижение доли растений-задернителей) проявляется в заметном ослаблении слоя дернины, уменьшении толщины биогенно-аккумулятивного слоя.

На поверхности выражен слой до 2 см отмерших слаборазложившихся растительных остатков:

Адерн.	0–2 см	слабо уплотнен корнями, легко крошится, темно-серый суглинок (остаточный дерновый слой);
A1	2–3 см	суглинок темно-серый (гумусированный), рыхлый, довольно много корней. Переход ясный по цвету;
Слой III	3–12 см	суглинок светло-коричневый, уплотнен, бесструктурный, корней очень мало.

Почва слабо (остаточно) одернованная переходная, суглинистая.

К началу третьего десятилетия самовосстановительной сукцессии (наблюдения 2008–2013 г.г.) на основной части ПП 1 сформировалось молодое лесное сообщество. В процессе замещения травянистой экосистемы на лесную складывается парцеллярное строение древесно-кустарникового яруса молодого лесного сообщества.

В группе (парцелле) сосны высота деревьев достигает 12–16 м, диаметр стволов – 13–20 см, это наиболее высокие деревья. В парцелле присутствуют подрост березы высотой 1–4 м и несколько кустов ивы. В пределах парцеллы сосна имеет эдификаторное значение. Высокая сомкнутость крон (до 0.8–0.9), низкая освещенность обуславливают угнетение травяного яруса, ОПП которого – 20–30%. Количество видов – 20, что заметно меньше, чем в травянистом сообществе (32 вида). Наиболее обильными являются *Fragaria vesca* и *Prunella vulgaris* L. – опушечные виды, способные переносить затенение, а также горчак ястребинковый (*Picris hieracioides*) – сорный вид, который проникает во все парцеллы из сохранившегося травянистого участка.

Из типичных лесных видов в развивающейся лесной экосистеме можно отметить *Equisetum sylvaticum* L., *Rubus saxa-*

tilis L., *Vicia sylvatica* L. Как свидетельство «молодости» лесной экосистемы, в ней сохраняются луговые элементы – вегетативные побеги *Agrostis gigantea*, *Dactylis glomerata*, *Deschampsia cespitosa*, а также разнотравья, однако они встречаются редко или единично.

На поверхности почвы отмечено формирование лиственно-хвойной подстилки. Поскольку травянистый ярус разрежен, его роль в формировании лесной подстилки невелика, в отличие от развитой ранее травянистой экосистемы, где основным поставщиком опада являются именно злаки и разнотравье.

Соответственно изменению состава и обилия видов напочвенного покрова, проявляются изменения в строении почвы, в ней дернина уже замещена лесной подстилкой, не выражен морфологически гумусовый горизонт:

АО	0–1(1.5) см	лиственно-хвойная подстилка, рыхлая, темно-бурая, слаборазложившаяся;
Слой II	1 (1.5)–5(6) см	суглинок легкий, серо-коричневый, слабо уплотнен;
Слой III	5 (6)–10 см	суглинок, светло-коричневый, уплотнен.

Почва слабо дифференцированная, переходная, суглинистая.

Березовая парцелла характеризуется также довольно высокой сомкнутостью крон (0.8), однако это достигается не столько развитием нескольких крупных экземпляров деревьев, как в сосновой парцелле, сколько большим числом особей подроста. Эдификаторную роль здесь играют деревья березы повислой высотой около 8 м, многочисленный подрост и тонкомер высотой до 4 м, которые расположены довольно плотно. Общее число видов в березовой парцелле – 29, ОПП травяного яруса – 30–40%. Наиболее обильны *Equisetum sylvaticum* и *Picris hieracioides*, присутствуют и другие лесные виды, такие как *Calamagrostis arundinacea*, характерный как раз для лиственных лесов, *Lathyrus vernus*, *Vicia sylvatica* и некоторые др. Однако, благодаря большей освещенности, в отличие от сосновой парцеллы, здесь сохраняется больше элементов травянистой экосистемы (лугового сообщества) – помимо *Agrostis gigantea*, *Deschampsia cespitosa* отмечены *Trifolium pratense* L., *Achillea millefolium* L., *Ranunculus acris* L. и пр. Несмотря на довольно богатый видовой состав травянистого яруса, большинство видов встречается редко или единично, соответственно, подстилка в парцелле березы сформирована преимущественно лиственным опадом с небольшой долей остатков травянистых растений.

В березовой парцелле формирующаяся почва характеризуется следующим строением:

A0	0–3 см	слой из слаборазложившегося опада, черный, рыхлый;
A1	3–7 см	суглинок, темно-серый, гумусированный, рыхлый;
Слой III	7–30 см	суглинок средний, светло-коричневый, уплотнен.

Почва переходная, слабо гумусная.

Ивы (*Salix caprea*, *S. pentandra* L. и *S. myrsinifolia* Salisb.) не образуют парцеллы, поскольку располагаются разрозненно, однако совместно с подростом березы формируют группы с низкой сомкнутостью крон – 0.4 (возможно, будущий подлесок). Высота особей ивы и березы – 5–8 м. Низкая сомкнутость крон обеспечивает хорошее развитие травянистого яруса (ОПП до 80%). В нем преобладает характерный для лиственных лесов вейник тростниковый (*Calamagrostis arundinacea* (L.) Roth), кроме того, примерно с одинаковым обилием присутствуют как лесные виды: *Equisetum sylvaticum*, *Fragaria vesca*, так и луговые: *Agrostis gigantea*, *Deschampsia cespitosa*, *Equisetum arvense*, *Picris hieracioides*. Общее число видов – 23.

На поверхности почвы сформирована травянисто-лиственная подстилка:

A0	0–2 (4) см	лиственно-травянистый слой, черный, слаборазложившийся;
Слой II	2 (4)–7 (10) см	суглинок средний, светло-коричневый, уплотнен.

Почва переходная, слабо дифференцирована.

Таким образом, на рассматриваемом участке самовосстановительная сукцессия развивается в направлении образования мелколиственного древесного сообщества с преобладанием березы, участием сосны и ив в группах древесных растений.

Формирующаяся лесная экосистема характеризуется парцеллярной структурой сообщества, которая обуславливает пространственную неоднородность почвенного покрова. Образование лесной подстилки в каждой парцелле происходит в зависимости от породы-эдификатора (лиственно-хвойной подстилки в парцелле сосны, лиственной с травянистыми остат-

ками в березовой парцелле, лиственно-травянистой – под пологом березы и ив).

Продуктивность фитомассы в процессе формирования лесной экосистемы (вариант 1)

Наряду с рассмотренным в процессе самовосстановительной сукцессии качественным изменением растительного сообщества на этапе замещения травянистой экосистемы на лесную исследованы количественные изменения фитомассы в формирующейся лесной экосистеме.

Продуктивность травянистого сообщества во все годы наблюдений находилась примерно на одном уровне (табл. 5). Однако в структуре продуктивности на сохранившихся участках травянистого сообщества отмечены закономерные изменения в соответствии с преобразованием его состава.

Существенно снижается доля злаков при возрастании доли разнотравья. При этом, соответственно количественно-качественному преобразованию растительного сообщества, происходят морфологические изменения лугоподобной почвы. Это свидетельствует о функциональной взаимосвязи между компонентами экосистемы. Более существенные преобразования отмечены в молодом лесном сообществе в связи с эдафическим влиянием древесных растений.

В отличие от травянистого сообщества на части ПП 1 с развитым древесно-кустарниковым ярусом основное количество поступающей на поверхность почвы растительной мортмассы приходится уже на древесный опад. При этом состав опада, формирующего лесную подстилку, значительно варьирует в соответствии с парцеллярным строением. Так, в парцелле с *Pinus sylvestris* масса листового опада, поступающего на поверхность почвы, составляет около 486 г/м² за год

Таблица 5
Наземная фитомасса травостоя и напочвенного покрова
в травянистом сообществе в ходе самовосстановительной сукцессии

Фракция	Год выполнения определения					
	1999		2011		2013	
	Масса, г/м ²	Доля, %	Масса, г/м ²	Доля, %	Масса, г/м ²	Доля, %
Злаки	304.8±10.6	81.6	168.2±44.6	45.5	199.0±36.1	62.0
Разнотравье	68.6±4.15	18.4	196.4±57.9	53.1	129.9±23.4	39.3
Мхи	–	–	5.2±3.8	1.4	1.6±0.6	0.5
Итого	373.4±10.7	100.0	369.8±82.1	100.0	330.8±69.4	100.0

(табл. 6), при этом хвоя составляет более трети общего опада. Масса остатков травянистых растений – 22–28 г/м² (табл. 7). В парцелле с *Betula pendula* масса листового опада за год – 258 г/м², травянистых растений – 92–119 г/м². Листья березы, ивы составляют 70% общей фитомассы. Полученные данные позволяют подтвердить четкую функциональную взаимосвязь преобразования почвы как компонента экосистемы с качественно-количественным преобразованием растительного сообщества в ходе замещения травянистого сообщества древесным.

При оценке скорости разложения растительного опада было установлено, что в травянистом сообществе смешанный об-

Таблица 6

**Количество и состав опада древесных растений,
поступающего за год в разных парцеллах молодого лесного
сообщества (среднее значение за пятилетний период наблюдений)**

Фракция	Парцелла сосны		Парцелла березы	
	Масса, г/м ²	Доля, %	Масса, г/м ²	Доля, %
Листья ивы	90.3±6.3	18.6	73.3±7.1	28.4
Листья березы	95.8±11.2	19.7	107.2±1.8	41.6
Хвоя сосны	161.3±21.1	33.2	24.8±7.8	9.6
Ветви	21.4±7.8	4.4	20.2±4.1	7.8
Кора	4.6±1.8	0.9	1.6±1.2	0.6
Генеративные органы	69.0±34.4	14.2	0.7±0.6	0.3
Труха	40.9±4.7	8.4	24.3±7.8	9.4
Другие фракции	2.3±0.4	0.5	5.8±1.8	2.2
Общий вес	485.6±60.8	100.0	257.8±18.3	100.0

Таблица 7

**Фитомасса травяного и напочвенного покрова
в молодом лесном сообществе
в третьем десятилетии восстановительного процесса**

Фракция	Год выполнения определения			
	2011		2013	
	Масса, г/м ²	Доля, %	Масса, г/м ²	Доля, %
В парцелле сосны				
Злаки	6.8±4.0	24.0	5.39±2.3	23.88
Разнотравье	21.28±3.78	74.0	17.2±2.9	76.3
Мхи	0.57±0.57	2.0	0.58±0.38	2.59
Итого	28.6±7.03	100.0	22.58±3.4	100
В парцелле березы				
Злаки	51.09±28.0	43.0	48.0±14.4	51.6
Разнотравье	68.1±23.08	57.0	44.0±13.3	47.3
Мхи	–	–	1.0±1.0	1.08
Итого	119.2±25.2	100.0	93.0±20.4	100.0

разец опада травянистых растений за год разлагается практически на 50% ($48.8 \pm 1.6\%$). В опыте с отдельными ботаническими группами злаки теряют около $36.8 \pm 1.8\%$ своей массы, разнотравье – около $58.6 \pm 4.8\%$ (данные 2011–2012 гг.).

В молодом лесном сообществе листья березы и ивы (основной компонент листового опада) за период с 18.10.2007 по 24.10.2008 г. разложились на $38.2 \pm 1.5\%$, травянистые растения (смешанный образец) – $48.7 \pm 0.6\%$. Разложение травянистых остатков происходит несколько более интенсивно, чем листьев.

Дополнительный опыт по разложению отдельных компонентов опада за период с 8.10.2010 по 19.10.2011 г. показал, что скорость разложения основных компонентов опада в парцеллах с сосной и березой близка (табл. 8).

Сравнительно более медленная минерализация листового опада обуславливает накопление на поверхности новообразованной почвы травянисто-лиственной, в дальнейшем – мховой подстилки. По-видимому, это обеспечивает постепенное поступление элементов питания для растений, и, соответственно, устойчивое самовоспроизводство растительного сообщества в менее благоприятных климатических условиях, характерных для таежной зоны, определяя особенности морфологического строения формирующейся почвы.

Невысокий процент разложения растительных остатков обуславливает образование на поверхности формирующейся почвы слоя слаборазложившихся остатков трав (ветоши) в травянистом сообществе и горизонта лесной подстилки – в молодом лесном сообществе.

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы.

В процессе самовосстановительной сукцессии на этапе замещения травянистой экосистемы лесной происходят законо-

Таблица 8

**Потеря массы основных компонентов опада
при разложении в молодом лесном сообществе (ПП 1)
за период с 8.10.2010 по 19.10.2011 г., %**

Компонент опада	Парцелла сосны	Парцелла березы
Лист ивы	21.5 ± 0.7	27.4 ± 1.6
Лист березы	17.3 ± 1.1	22.2 ± 1.0
Хвоя сосны	15.4 ± 1.2	Не опр.
Ветви	Не опр.	5.32 ± 1.0
Разнотравье	57.7 ± 2.1	65.4 ± 0.3
Злаки	37.8 ± 2.9	44.3 ± 2.2

мерные изменения состава растительного материала и его количества, состава и количества опада и условий его разложения.

Вклад травянистых растений в структуру опада увеличивается при переходе от сосновой к березовой парцелле, обеспечивая неоднородность лесного сообщества, компонентов экосистемы, свойств почвы.

Скорость разложения основных компонентов активной фракции листового опада древесного яруса молодого лесного сообщества в 2.4–3.7 раза ниже скорости разложения растительных остатков разнотравья и в 1.2–2.5 раза – злаков, что обуславливает накопление растительного опада на поверхности почвы в форме лесной подстилки. Здесь следует напомнить об особенностях древесных растений аккумулировать и сохранять элементы питания в своей многолетней ствольной массе (Пономарева, 1970; Пономарева, Плотникова, 1980).

Детальное изучение самовосстановительной сукцессии на этапе замещения травянистой экосистемы на лесную выявило главную роль растительного сообщества в преобразовании субстрата – формировании органо-аккумулятивного слоя, обеспечивающего самовоспроизводство биологической компоненты. Механизмом, связывающим эти компоненты экосистемы, является биологический оборот органического вещества.

Физико-химические свойства почвы на ПП 1 на этапе замещения травянистой экосистемы на лесную (вариант 1)

По гранулометрическому составу субстрат, на котором происходит почвообразование, относится к средним суглинкам. Гранулометрический состав минеральной части почвы в травянистой экосистеме и в парцеллах деревьев характеризуется сходством и слабой дифференциацией (табл. 9). Вместе с тем, в почве, которая формируется под сосной, содержание илистой фракции в верхнем минеральном горизонте меньше по сравнению со слоем, расположенным ниже, что может быть связано с вертикальной миграцией илстых частиц с влагой.

Физико-химические показатели почв (табл. 10) в целом отражают происходящее в них преобразование. В группах древесных растений выражена аккумуляция грубого гумуса в формирующейся подстилке и элементов-биогенов, что характерно для почв лесной экосистемы. Те же признаки можно отметить и в почве деградирующей травянистой экосистемы.

Таблица 9

Гранулометрический состав почв на ПП 1

Горизонт, глубина, см	Гигро- скопиче- ская влага, %	Потеря от обра- ботки НСI	Содержание фракций, %, (размер частиц в мм)					Сумма частиц >0.01	Сумма частиц <0.01	
			1-0.25	0.25-0.05	0.05-0.01	0.01- 0.005	0.005- 0.001			<0.001
Травянистое сообщество										
АдА1 0-3	4.12	1.44	14.94	14.69	39.57	4.91	8.50	17.39	69.20	30.80
Слой II 3-6	3.01	1.52	6.69	16.59	43.10	7.21	6.51	19.90	66.38	33.62
Слой III 15-30	2.53	0.32	1.06	27.05	41.46	6.32	5.37	18.74	69.58	30.42
Березовая парцелла										
А1 3-6	2.68	1.11	6.76	12.78	50.11	6.98	2.59	20.78	69.65	30.35
Слой III 6-10	2.02	0.28	1.57	17.26	51.26	5.43	6.77	17.71	70.09	29.91
Сосновая парцелла										
В 1-6 (7)	4.12	1.67	14.74	18.45	38.57	6.46	1.50	20.28	71.76	28.24
Слой III 10-20	2.74	0.15	0.35	17.52	49.56	6.00	1.56	25.01	67.43	32.57

Таблица 10

Физико-химические свойства почвы на ПП 1

Горизонт, глубина, см	рН _{водн.}	С _{орг.} %	N _{гидр.}	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺
			мг/100 г			ммоль/100 г	
Травянистое сообщество (1998 г.)							
Адер 0–2 (5)	6.2	1.6	3.4	14.7	5.0	3.7	3.2
АдерА1 2 (5)–9 (10)	5.7	1.5	1.2	12.1	3.3	2.9	2.5
Слой III 9 (10)–20	6.0	1.0	1.5	8.3	17.4	2.4	1.8
Слой IV 20–40	5.6	0.8	1.4	9.1	18.3	1.9	0.5
Травянистое сообщество (2013 г.)							
А0Адер 0–2	6.7	3.9	7.7	47.7	29.2	12.1	2.7
А1 2–3	6.4	1.5	4.0	33.7	16.5	9.3	2.6
Слой III 3–12	6.0	0.4	1.7	19.2	16.3	9.8	3.0
Слой IV 15–20	6.0	0.3	2.2	15.1	16.7	9.3	3.7
Молодое лесное сообщество, сосновая парцелла (2013 г.)							
А0 0–1 (1.5)	7.0	5.4	10.0	30.4	21.4	23.2	6.0
В 1 (1.5)–5 (6)	6.5	1.4	5.8	21.2	15.1	12.4	4.5
Слой III 5 (6)–10	6.3	0.8	2.7	20.0	16.8	8.8	3.7
Слой IV 10–15	5.5	0.4	1.8	11.1	21.1	7.8	3.6
Слой V 15–20	5.4	0.2	1.1	10.0	19.8	7.7	3.6

Таким образом, сукцессионная смена растительности на этапе смены травянистого сообщества лесным характеризуется обособлением горизонта лесной подстилки с аккумуляцией в ней органического вещества и биофильных элементов. При этом надо отметить, что в травянистом сообществе еще сохраняется слабо развитый гор. А1.

При закономерном изменении состава и обилия видов при формировании на месте сообщества трав парцелл древесных растений происходит разрушение биогео-аккумулятивного слоя и формирование лесной подстилки (нового биогео-аккумулятивного слоя).

Самовосстановительная сукцессия после выборочной рубки (вариант 2)

ПП 2, 3 расположены в 50–70 м от ПП 1, на той же верхней части пологого склона. Они заняты мелколиственным лесом (возраст деревьев более 100 лет), образовавшемся в процессе самовосстановления после выборочной рубки. Лесная экосистема представляет собой закономерно сформированный после техногенного разрушения зонального типа сообщества этап производного мелколиственного леса, достигшего зрелого состояния. ПП 2 и 3 различаются по составу древесных пород.

Березняк разнотравный (ПП 2). Состав древостоя 8Б2Е, единично присутствуют сосна, осина (рис. 3). В первом пологе преобладает береза пушистая, высота деревьев – 20–23 м, диаметр стволов – 14–20 см. Во втором пологе, как это обычно бывает в производных березняках, господствует ель (10 ед. по составу) высотой до 12 м, диаметр стволов – 14–18 см. Общая сомкнутость крон достигает 0,7, при выраженном групповом расположении деревьев, что является проявлением парцеллярной структуры – характерной особенности лесных сообществ.

В подросте преобладает ольха (9 ед.), также присутствуют ель и береза. Высота подроста достигает 3 м. Подлесок несомкнут, состоит из *Sorbus aucuparia* Hedl., видов р. *Salix*, *Rosa acicularis* Lindl., *Lonicera pallasii* Ledeb., *Daphne mezereum* L. Общая высота подлеска до 3 м.

За период наблюдений существенных изменений в составе и структуре древесных пологов не выявлено, что свидетельствует о стабильности стадии спелого мелколиственного леса как промежуточного этапа самовосстановления зонального типа растительного сообщества.

Травяно-кустарничковый покров в березняке хорошо развит. В 2012 г. в нем отмечено 38 видов сосудистых растений. ОПП составляет 95% (табл. 11). Видовой состав за пе-



Рис. 3. Березняк разнотравный. Почва слабодерновая слабоподзолистая суглинистая.

Таблица 11

Характеристика растительности на ПП 2–4

Вид растений	Растительное сообщество							
	Березняк			Осинник			Ельник	
	2001 г.	2007 г.	2012 г.	2001 г.	2007 г.	2012 г.	2001 г.	2012 г.
Древостой, I полог								
<i>Betula pubescens</i>	8	8	8	2	2	2	ед	ед
<i>Picea obovata</i>	2	2	2	3	3	3	8	8
<i>Populus tremula</i>	ед	ед	ед	5	5	5	–	–
<i>Pinus sylvestris</i>	ед	ед	ед	ед	ед	ед	ед	ед
<i>Alnus incana</i>	–	–	–	ед	ед	ед	–	–
Число видов	4	4	4	5	5	5	3	3
Сомкнутость крон	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Высота, м	15–17	15–17	20–23	15–17	15–17	20–23	17	25–29
Диаметр ствола, см	14–20	14–20	14–20	14–17	14–17	15–17	15–22	21–26
II полог								
<i>Picea obovata</i>	10	10	10	10	10	10	10	10
<i>Alnus incana</i>	ед	ед	ед	–	–	–	–	–
<i>Salix caprea</i>	ед	ед	–	–	–	–	–	–
<i>Betula pubescens</i>	–	–	–	–	ед	–	–	–
<i>Pinus sylvestris</i>	–	–	–	–	–	–	–	ед
<i>Populus tremula</i>	–	–	–	–	–	–	–	ед
<i>Abies sibirica</i>	–	–	–	–	–	–	–	ед
Высота, м	До 12	До 12	До 12	До 12	До 12	До 12	До 12	13–19
Диаметр, см	14–18	14–18	14–18	14–18	14–18	14–18	7–12	16–19
Подрост, состав								
<i>Alnus incana</i>	9	9	9	6	6	6	–	ед
<i>Picea obovata</i>	1	1	1	4	4	4	8	7
<i>Betula pubescens</i>	–	ед	ед	–	–	–	2	1
<i>Populus tremula</i>	–	–	–	–	–	–	–	2
<i>Pinus sylvestris</i>	–	–	–	–	–	–	–	ед
<i>Abies sibirica</i>	–	–	–	–	–	–	–	ед
Число видов	2	3	3	2	2	2	2	5
Высота, м	До 3	До 3	До 3	До 3	До 3	До 3	0.1–2.5	До 3
Диаметр, см	До 3	До 3	До 3	До 3	До 3	До 3	До 3	До 3
Подлесок								
<i>Sorbus aucuparia</i>	ед	ед	ед	ед	ед	ед	ед	ед
<i>Lonicera pallasii</i>	ед	ед	ед	ед	ед	ед	–	ед
<i>Rosa acicularis</i>	ед	ед	ед	ед	ед	ед	–	–
<i>Daphne mezereum</i>	–	ед	ед	–	ед	ед	–	–
<i>Salix caprea</i>	–	ед	ед	–	–	–	–	–
<i>Lonicera xylosetum</i>	–	–	–	–	–	ед	–	–
<i>Juniperus communis</i>	–	–	–	–	–	–	–	ед
Число видов	3	5	5	3	4	5	1	3
Сомкнутость	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Высота, м							До 1.5	До 1.5

Окончание табл. 11

Вид растений	Растительное сообщество							
	Березняк			Осинник			Ельник	
	2001 г.	2007 г.	2012 г.	2001 г.	2007 г.	2012 г.	2001 г.	2012 г.
<i>Hypericum maculatum</i>	–	–	ед	–	–	–	–	–
<i>Lycopodium annotinum</i>	–	–	–	–	–	–	–	ед
<i>Melampyrum sylvaticum</i>	–	–	–	–	–	–	–	ед
<i>Orthilia secunda</i>	–	–	–	–	–	–	–	ед
<i>Phegopteris connectilis</i>	–	–	–	–	–	–	–	ед
<i>Coeloglossum viride</i>	–	–	–	ед	–	–	–	–
<i>Platanthera bifolia</i>	–	–	–	ед	–	–	–	–
<i>Alchemilla</i> sp.	ед	–	–	–	–	–	–	–
<i>Carex digitata</i>	ед	–	–	–	–	–	–	–
<i>Thalictrum minus</i>	ед	–	–	–	–	–	–	–
<i>Viola selkirkii</i>	ед	–	–	–	–	–	–	–
Число видов	42	29	38	34	27	34	16	28
Общее проективное покрытие, %	95–98	95	95	70–90	70–90	70–90	60	70
Высота, см	7–100	10–100	10–100	7–100	7–100	7–100	7–40	10–100
Моховой и лишайниковый покров								
Общее проективное покрытие, %			20			20		60–80

риод наблюдений меняется незначительно. При этом произошло существенное увеличение обилия некоторых видов, которые в начальный период исследований отмечались как редкие или единичные. Так, *Calamagrostis arundinacea* за десятилетие увеличил удельное обилие от 1–5 до 75% (р→с-г) и стал одним из доминантов травяно-кустарничкового яруса. Кроме вейника повысилось обилие, правда, не так значительно, *Lathyrus vernus*, *Rubus saxatilis* и *Aegopodium podagraria* L. Вейник, чина и костяника – виды довольно требовательные к освещенности, поэтому повышение их обилия косвенно указывает на увеличение за период наблюдений освещенности местообитания. Таежные виды – *Vaccinium myrtillus* L., *V. vitis-idaea* L., *Maianthemum bifolium* (L.) F.W. Schmidt и др., малообильны и сосредоточены в более затененных еловых парцеллах. Кроме указанных видов, увеличивающих свое участие в составе травяно-кустарничкового яруса, отмечены виды с уменьшающимся обилием – это такие элементы разнотравья, как *Stellaria holostea* L. и *Trollius europaea* L., что проявляется в общей массе (табл. 12). В целом, при значительном видовом разнообразии травяно-кустарничкового яруса большинство видов представлено единичными особями.

Таким образом, на ПП 2 за период наблюдений зафиксировано заметное увеличение обилия вейника тростниковидного, который к 2013 г. становится одним из доминантов травя-

Таблица 12

**Масса компонентов
в травяно-кустарничковом и моховом покрове березняка (ПП 2), г/м²**

Вид	29 июня 2011 г.		29 июля 2011 г.		07 октября 2011 г.	
	Масса, г/м ²	Доля, %	Масса, г/м ²	Доля, %	Масса, г/м ²	Доля, %
<i>Calamagrostis arundinacea</i>	36.3	65.9	30.2	51.7	26.8	70.5
<i>Aegopodium podagraria</i>	3.7	6.7	3.9	6.7	0.6	1.6
<i>Cirsium heterophyllum</i>	0.3	0.5	2.8	4.8	0.5	1.3
<i>Lathyrus vernus</i>	3.3	6.0	2.0	3.4	0.3	0.8
<i>Rubus saxatilis</i>	2.7	4.9	11.5	19.7	–	–
<i>Maianthemum bifolium</i>	2.5	4.5	3.4	5.8	–	–
<i>Vaccinium myrtillus</i>	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4	1.1
<i>Milium effusum</i>	–	–	–	0.0	2.2	5.8
<i>Trientalis europaea</i>	0.5	0.9	0.1	0.2	–	–
<i>Oxalis acetosella</i>	3.4	6.2	0.8	1.4	0.7	1.8
<i>Stellaria holostea</i>	1.9	3.4	0.7	1.2	2.1	5.5
<i>Vicia sylvatica</i>	–	–	0.2	0.3	0.1	0.3
<i>Pyrola sp.</i>	–	–	0.4	0.7	0.7	1.8
<i>Ajuga reptans</i>	0.2	0.4	0.1	0.2	0.6	1.6
<i>Veronica chamaedrys</i>	–	–	0.5	0.9	–	–
<i>Carex digitata</i>	–	–	–	–	0.1	0.3
Мхи	0.2	0.4	1.6	2.7	2.9	7.6
Итого	55.1	100.0	58.4	100.0	38.0	100.0

но-кустарничкового яруса. Если в дальнейшем не произойдет падение его обилия, возможно, следует переклассифицировать сообщество в «березняк вейниково-разнотравный».

Моховой покров в березняке развит слабо, его проективное покрытие в 2012 г. составляло 20%. В нем преобладают *Rhytidiadelphus triquetrus* (Hedw.) Warnst. и *Plagiomnium cuspidatum* (Hedw.) T.J. Кор., пятнами встречаются *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt. (обрастает основания стволов березы), *Hylocomium splendens* (Hedw.) Bruch et al. В местах нарушения почвенного покрова, на валеже, отмечены *Atrichum tenellum* (Roehl.) Bruch et Schimp., виды родов *Plagiomnium*, *Rhytidiadelphus* и *Brachythecium*.

В березняке разнотравном (ПП 2) к массе травяно-кустарничкового покрова добавляется древесно-кустарничковый опад. За период активного листопада в 2010 г. масса опада составила 242.1 г/м², причем масса листового опада *Betula pubescens* (эдификатора древесного яруса) достигла 171.7 г/м² (70%), опада *Populus tremula* – 11.9 (около 5%), хвои *Picea obovata* Ledeb. – 34.5 г/м² (14.2%). За зимне-весенний период 2010–2011 гг. на поверхность поступило существенно меньше

общего опада – 48.2 г/м². Как и ожидалось, в опаде преобладала хвоя – 22.6 г/м² (47%). Масса листьев *Betula pubescens* составляла 4.2 г/м² – 8.7%, запас углерода, поступающего с листовым опадом *Betula pubescens*, – 82.7 г/м², азота – 1 г/м².

Почва в березняке характеризуется следующим строением профиля:

A0	0–5 (7) см	рыхлая, среднеразложившаяся подстилка, переходящая в гумусовый слой;
A1	5 (7)–11 (12) см	суглинок средний, темно-серый, рыхлый, комковатой структуры, много корней, ясная граница с нижележащим слоем по цвету и сложению;
A2	11 (12)–19 см	суглинистый, светло-серый, бесструктурный, еще часто корни, переход в гор. В по цвету и сложению;
B1	19–37 см	суглинистый, светло-коричневатый, слабоуплотнен, распадается на глыбистые отдельности, переход постепенный;
B2	37–53 см	суглинистый, буро-коричневатый, среднеглыбистые отдельности;
BC	53–60 см	суглинистый, буро-коричневый, распадается на средне(крупно)глыбистые отдельности.

Почва слабодерновая слабоподзолистая суглинистая.

Осинник разнотравный (ППЗ 3). Состав древостоя 5Ос3Е2Б (табл. 11). В первом пологе древостоя преобладает осина, в примеси присутствуют ель и береза пушистая, ольха серая. Высота деревьев 20–23 м, диаметр стволов – 15–17 см, сомкнутость крон – до 0.7 (рис. 4). Второй полог образует ель (10 ед.) высотой до 12 м, с диаметром стволов 14–18 см. В составе подроста преобладают ольха серая и ель (6 и 4 ед. соответственно). Высота подроста – до 3 м.

Подлесок разреженный, в нем присутствуют *Lonicera pallasi*, *L. xylosetum* L., *Rosa acicularis*, *Sorbus aucuparia* и *Daphne mezereum*. Существенных различий по составу подлеска по сравнению с березняком не наблюдается.

В травяно-кустарничковом ярусе отмечено 35 видов сосудистых растений. Наибольшее обилие отмечено у тех же видов, что и в березняке (табл. 11) – *Calamagrostis arundinacea*, *Aegopodium podagraria* и др., что нашло отражение в общем количестве фитомассы (табл. 13). Следует отметить, что в осиннике выше, чем в березняке участие видов еловых лесов: *Vaccinium myrtillus*, *V. vitis-idaea*. За последнее десяти-

Таблица 13

**Масса компонентов в травяно-кустарничковом
и моховом покрове осинника (ПП 3), г/м²**

Вид	29 июня 2011 г.		29 июля 2011 г.		7 октября 2011 г.	
	Масса, г/м ²	Доля, %	Масса, г/м ²	Доля, %	Масса, г/м ²	Доля, %
<i>Calamagrostis arundinacea</i>	9.7	21.3	11.1	18.8	10.7	39.2
<i>Rubus saxatilis</i>	1.7	3.7	6.3	10.7	3.9	14.3
<i>Aegopodium podagraria</i>	12.9	28.3	7.1	12.0	–	–
<i>Cirsium heterophyllum</i>	6	13.2	2.1	3.6	0.5	1.8
<i>Lathyrus vernus</i>	6	13.2	6.5	11.0	–	–
<i>Trientalis europaea</i>	0.2	0.4	–	–	–	–
<i>Oxalis acetosella</i>	0.2	0.4	0.4	0.7	0.1	0.4
<i>Maianthemum bifolium</i>	1.2	2.6	0.5	0.8	–	–
<i>Luzula pilosa</i>	–	–	0.4	0.7	–	–
<i>Vaccinium myrtillus</i>	0.3	0.7	6.9	11.7	4.2	15.4
<i>Vicia sylvatica</i>	–	–	0.7	1.2	0.6	2.2
<i>Gymnocarpium dryopteris</i>	1.3	2.9	1	1.7	–	–
<i>Geranium sylvaticum</i>	–	–	1.5	2.5	–	–
<i>Carex digitata</i>	–	–	6.5	11.0	0.2	0.7
<i>Fragaria vesca</i>	0.6	1.3	–	–	–	–
<i>Pyrola sp.</i>	–	–	0.3	0.5	1.8	–
<i>Atragene sibirica</i>	1.5	3.3	4.3	7.3	–	–
<i>Ajuga reptans</i>	0.3	0.7	0.6	1.0	1.8	6.6
<i>Pulmonaria obscura</i>	0.8	1.8	–	–	–	–
<i>Dryopteris carthysiana</i>	0.9	2.0	–	–	–	–
<i>Linnaea borealis</i>	0.2	0.4	–	–	–	–
Мхи	1.8	3.9	2.8	4.7	4.8	17.6
Итого	45.6	100.0	59	100.0	27.3	100.0

летие наших наблюдений существенных изменений в составе яруса не произошло, отмечено лишь некоторое увеличение обилия *Cirsium heterophyllum* (L.) Hill, *Lathyrus vernus* и *Calamagrostis arundinacea*, однако менее выраженное, чем в березняке.

В слабо развитом моховом покрове осинника преобладают *Rhytidiadelphus triquetrus* и *Plagiomnium cuspidatum*. Изредка на почве и у основания стволов деревьев встречаются *Hylocomium splendens* и *Pleurozium schreberi*. На гниющей древесине отмечены *Sanionia uncinata* (Hedw.) Loeske, виды родов *Brachythecium*, *Atrichum*.

За время активного листопада, по наблюдениям в 2010 г., масса опада составила 208.6 г/м². Масса листового опада *Populus tremula* (эдификатора древесного яруса) достигает 80.5 г/м² (38.6%) при значительной массе опада *Betula pubescens* – 68.7 г/м² (33%). Доля хвои незначительна. За зимний период

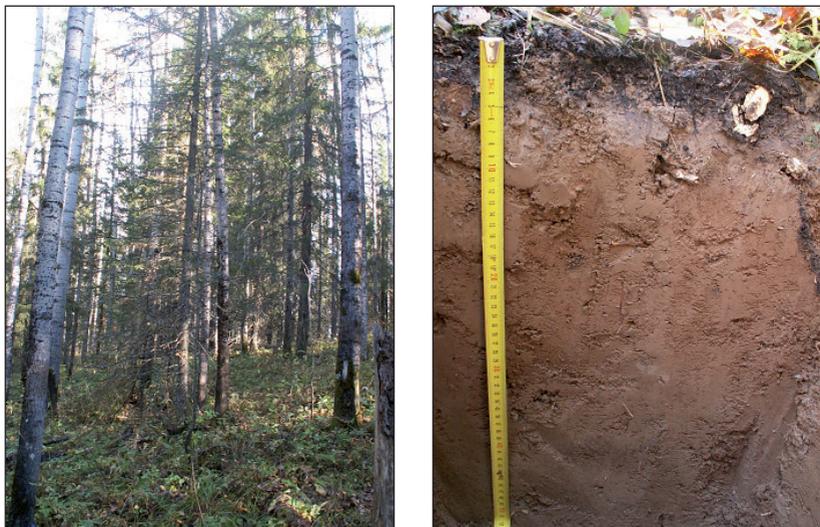


Рис. 4. Осинник разнотравный. Почва слабодерновая слабоподзолистая суглинистая.

2010 г. и весенний период 2011 г. поступило 59.8 г/м^2 опада. Половину его составляет хвоя *Picea obovata* – 30.2 г/м^2 . Масса листьев *Populus tremula* невелика – 2.4 г/м^2 (4%). В опаде значительная доля хвой указывает на заметное участие *Picea obovata* в древостое, и, тем самым косвенно, – на процесс замещения лиственного древостоя на хвойный.

В целом, существенных изменений за десятилетний период исследований по составу и структуре сообщества осинника разнотравного нами не отмечено.

Почва в осиннике характеризуется следующим строением (рис.4):

A0	0–3 (5) см	рыхлая травянисто-моховая подстилка, среднеразложившаяся, уплотнена корнями;
A1	3(5)–7	среднесуглинистый, темно-серый, много корней, мелкокомковатый;
A2	7–15(19) см	суглинистый, светло-серый, бесструктурный, есть корни, переход в гор. В1 ясный по цвету и плотности;
B1	15(19)–29 см	суглинистый, палево-коричневатый, слабо уплотнен, редко корни, распадаются на крупноглыбистые отдельности;

B2	29–45 см	суглинистый, коричневый, слабо уплотнен, крупно-глыбистые отдельности;
BC	40(45)–55 см	суглинистый, коричнево-бурый, более плотный, чем B1, есть галька.

Почва слабодерновая слабоподзолистая суглинистая.

Почва в березняке и осиннике имеет практически одинаковое строение, главной особенностью которого является четко выраженный гумусовый горизонт мощностью до 5–7 см под среднеразложившейся травянисто-лиственной подстилкой в березняке и травянисто-моховой в осиннике малой мощности (2–3 см). Почва слабодерновая, слабо-(остаточно)подзолистая, суглинистая, подзолистый горизонт мощностью 8–10 см (в типичной подзолистой почве – до 20 см). В осиннике и березняке (этап мелколиственных пород) почва характеризуется ослаблением подзолообразования, что связано с изменением состава поступающего опада (преимущественно травянистолиственного), и поступлением гумуса при более активном разложении опада. Это преобразует верхнюю часть сформированного прежде (в зональной лесной экосистеме до вырубki) подзолистого горизонта.

Таким образом, оба варианта объектов (ПП 1 – на техногенном наносе и ПП 2, 3 – после выборочной рубки), позволяющие одновременно наблюдать разные этапы самовосстановительной сукцессии, показывают четко выраженное определяющее влияние биологического фактора в формировании (преобразовании) почвы как компонента природной экосистемы.

Краткая характеристика ельника чернично-зеленомошного (ПП 4)

В качестве экосистемы зонального типа изучали ельник чернично-зеленомошный (рис. 5).

В древостое (8Е1С1В+Ос) выделяются два полога (табл. 11). В первом преобладает ель (8 ед.), ее средняя высота 25 м, диаметр стволов – 21 см. В качестве примеси отмечены береза пушистая и сосна обыкновенная; во втором – господствует ель (высота до 19 м), а также пихта, осина, сосна. В составе подроста преобладает ель (7 ед., высота до 3 м), присутствуют осина (2 ед., высота 1 м), береза пушистая (1 ед., высота до 2.5 м), единично – сосна и пихта (до 1.2 м). Подлесок редкий, сложен рябиной, ольхой серой, жимолостью Палласа и можжевельником. Виды подлеска угнетены и существуют в вегетативном



Рис 5. Ельник чернично-зеленомошный. Почва – подзол иллювиально-железистый песчаный на суглинке.

состоянии, высота яруса не превышает 1.5 м, только единичные экземпляры рябины и ольхи достигают 7 м.

Проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса – 70%, фон образует *Vaccinium myrtillus*, в довольно значительном количестве присутствуют *V. vitis-idaea* и *Linnaea borealis* L. (табл. 11). Из трав в небольшом количестве встречаются типичные обитатели еловых лесов: *Maianthemum bifolium*, *Trientalis europaea* L., *Oxalis acetosella* L., *Gymnocarpium dryopteris* (L.) Newm., *Carex globularis* L..

Отмечены лесные злаки: *Calamagrostis arundinacea*, *Milium effusum* L., *Melica nutans* L., небольшими группами в окнах – папоротники: *Dryopteris carthusiana* (Vill.) Н.Р. Fuchs, *Phegopteris connectilis* (Michx.) Watt, а также *Prunella vulgaris*, *Rubus saxatilis*, *Fragaria vesca*, *Lathyrus vernus*.

Проективное покрытие мохового яруса – 60–80%. Доминирующий вид – *Hylocomium splendens*, довольно значительно проективное покрытие *Pleurozium schreberi*. В микропонижениях разрастаются *Sphagnum girgensohnii* Russow и *Polytrichum commune*. На нарушенной почве и на валеже присутствуют виды родов *Plagiomnium* и *Brachythecium*.

За период исследований изменений в сообществе не зафиксировано, поскольку данный фитоценоз является зональным

и представляет собой конечную стадию сукцессионной последовательности самовосстановления в условиях средней тайги. Отмеченные небольшие колебания обилия тех или иных видов относятся к сезонным или флуктуационным.

В фитомассе травяно-кустарничкового покрова ельника значительной долей отличаются *Vaccinium myrtillus* и мхи (табл. 14). От весны к лету количественное участие *Vaccinium myrtillus* возрастает, а осенью с отмиранием листьев существенно уменьшается. Заметную долю в массе растений данного яруса составляет вечнозеленый кустарничек *Vaccinium vitis-idaea*. Его участие в общей фитомассе по сезонам года меняется слабо. Зеленые мхи (живая часть) демонстрируют повышение массы от весны к осени. В октябре на их долю приходится около 50% общей фитомассы.

Почва характеризуется морфологическим строением профиля, приведенным ниже:

A0	0–8(9) см	слаборазложившаяся бурая моховая подстилка под живой частью мхов около 2 см. Корни травянистых и древесных растений, слабо уплотнена;
A2	8(9)–27(30) см	песчаный, светло-серый, бесструктурный, есть корни, слабо уплотнен;
Bfe	27(30)–53(55) см	коричнево-бурый песчаный, железистые пятна, уплотнен. По окраске слой до 40 см более осветленный, до 53(55) см – очень интенсивная буроватая окраска, слабо уплотнен, распадается на мелкие глыбистые отдельности;
B2	53(55)–75 см	песчаный серо-коричневатый, рыхлый, распадается на мелкие глыбки;
BC	75–85 см	суглинистый, светло-серый, очень плотный.

Почва – подзол иллювиально-железистый песчаный на суглинке (двучлен).

Как показано ранее, напочвенный покров в березняке и осиннике сложен травянистыми растениями, в общей массе напочвенного покрова березняка преобладает *Calamagrostis arundinacea*, а в осиннике – *Calamagrostis arundinacea* и *Aegopodium podagraria*. Сезонные изменения в общей фитомассе травяно-кустарничкового покрова характеризуются четким увеличением в летний период и снижением – в осенний в связи с отмиранием травянистых растений (табл. 11, 13). Осенью из-за полного отмирания большей части летнезеленых видов увеличивается относительная доля участия в фитомассе зимне-летнезеленого *Calamagrostis arundinacea*. Такая карти-

Таблица 14

**Масса компонентов в травяно-кустарничковом
и моховом покрове ельника (ПП 4), г/м²**

Вид	29 июня 2011 г.		29 июля 2011 г.		07 октября 2011 г.	
	Масса, г/м ²	Доля, %	Масса, г/м ²	Доля, %	Масса, г/м ²	Доля, %
<i>Vaccinium myrtillus</i>	58.5	52.0	71.7	53.0	33.3	33.4
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	20.0	17.8	16.3	12.0	11.7	11.7
<i>Linnaea borealis</i>	2.2	2.0	2.8	2.1	2.9	3.0
<i>Luzula pilosa</i>	–	–	2.4	1.8	–	–
<i>Trientalis europaea</i>	0.1	0.1	0.1	0.1	–	–
<i>Pyrola sp.</i>	–	–	2.1	1.5	2.5	2.5
<i>Stellaria holostea</i>	–	–	0.6	0.4	–	–
<i>Carex digitata</i>	–	–	–	–	0.1	0.1
Мхи	31.7	28.2	39.4	29.1	49.2	49.3
Итого	112.6	100.0	135.3	100.0	99.7	100.0

на является характерной для мелколиственных лесных экосистем, когда поступление растительного материала на поверхность происходит осенью, его активное разложение – в следующем вегетационном сезоне, что создает условия для возобновления сообщества. Непрерывный цикл *развитие* → *отмирание* → *трансформация* → *обогащение субстрата (почвы)* и т.д. – есть характерный биологический оборот органического (растительного) материала в ходе самовосстановительной сукцессии.

Таким образом, сезонное изменение общей массы напочвенного покрова мелколиственных лесных сообществ имеет иной характер по сравнению с ельником (зональным типом), что связано с иным качественным составом преобладающих видов растений в напочвенном покрове, особенностями цикла их развития.

**Скорость разложения растительной отмирающей массы
на ПП 2, 3 (вариант 2) и ПП 4**

Растительные остатки, накапливающиеся на поверхности почвы, включаясь при разложении в биологический оборот органического вещества, обеспечивают самовозобновление (самоподдержание) растительного сообщества.

Как видно по приведенным в табл. 15 и на рис. 6, 7 данным, в обеих лиственных лесных экосистемах выявлено значительное сходство по интенсивности разложения массы основных компонентов травяно-кустарничкового и мохового покрова. Наибольшей потерей веса отличаются *Cirsium hete-*

Таблица 15

Потеря массы растительных остатков при разложении в течение года
на ПП 2, 3 (вариант 2) и ПП 4

Опытный участок	Растительный материал	Потеря массы к исходному весу, %			Средняя потеря массы к исходному весу, %
		Повт. 1	Повт. 2	Повт. 3	
Березняк (ПП 2)	<i>Populus tremula</i> (листья)	35.0	41.0	28.6	34.9
	<i>Betula</i> sp. (листья)	26.0	28.0	28.9	27.6
	<i>Calamagrostis arundinacea</i> (листья)	43.0	44.4	40.9	42.7
	<i>Cirsium heterophyllum</i> (листья)	85.4	82.2	79.8	82.4
	<i>Aegopodium podagraria</i> (листья)	73.9	75.5	77.4	75.6
	<i>Lathyrus vernus</i> (листья)	57.1	59.9	64.4	60.5
Осинник (ПП 3)	<i>Populus tremula</i> (листья)	27.4	28.4	23.6	26.5
	<i>Betula</i> sp. (листья)	28.5	30.2	32.4	30.4
	<i>Calamagrostis arundinacea</i> (листья)	51.0	48.3	46.7	48.6
	<i>Cirsium heterophyllum</i> (листья)	86.5	75.0	80.3	80.6
	<i>Aegopodium podagraria</i> (листья)	80.5	75.9	80.2	78.8
	<i>Lathyrus vernus</i> (листья)	55.9	63.5	56.8	58.8
	<i>Vaccinium myrtillus</i> (листья)	44.8	44.2	43.6	44.2
	<i>Vaccinium myrtillus</i> (стебли)	26.0	26.2	25.3	25.8
Ельник (ПП 4)	<i>Picea obovata</i> (хвоя)	33.5	32.3	33.6	33.1
	<i>Populus tremula</i> (листья)	17.9	25.8	21.2	21.6
	<i>Betula</i> sp. (листья)	18.8	20.4	18.0	19.0
	<i>Vaccinium myrtillus</i> (листья)	33.1	27.5	32.5	31.0
	<i>Vaccinium myrtillus</i> (стебли)	23.5	19.6	20.4	21.2
	<i>Vaccinium vitis-idaea</i> (растение в целом)	18.8	17.6	16.4	17.6
	<i>Hylocomium splendens</i> (зеленая живая часть)	17.3	15.1	22.9	18.4

Примечание: все фракции растительного материала для опыта были собраны в сентябре 2010 г. в состоянии отмирания, только хвоя ели – в зеленом состоянии.

rophyllum и *Aegopodium podagraria* – около 80% (мягкие и сочные растения). *Calamagrostis arundinacea* (злак) за год разложился на 41–51%, чина – 56–64%. Меньшая потеря веса отмечена у опадающих листьев осины и березы.

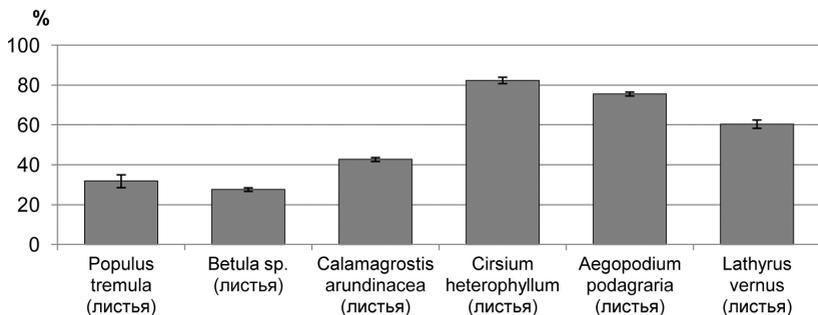


Рис. 6. Средняя потеря в весе (%) компонентов опада и травяного покрова, разлагающихся в течение года на поверхности почвы березняка (вариант 2).

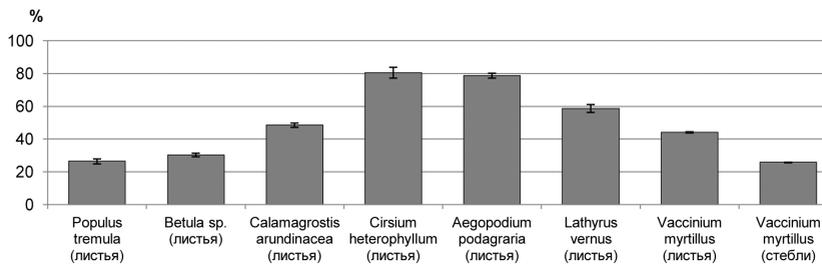


Рис. 7. Средняя потеря в весе (%) компонентов опада, травяно-кустарничкового яруса, разлагающихся в течение года на поверхности почвы осинника (вариант 2).

Как по составу, так и по пониженной интенсивности трансформации растительного материала выделяется ельник (табл. 16, рис. 8), что в первую очередь связано с наличием достаточно мощной моховой лесной подстилки, на поверхности живой части которой аккумулируются отмирающие растительные остатки, в том числе лиственный опад древесных растений. В связи с этим, видимо, интенсивность разложения листьев березы и осины в ельнике примерно на треть меньше, чем на биогенно-активном органогенном слое в мелколиственных сообществах.

Как известно, преобразование растительного материала происходит наиболее активно во время вегетационного периода. Это иллюстрирует опыт по трансформации растительного материала за период с 19.06.2011 по 19.08.2011 г. Так, в течение этого периода потеря в весе листьев *Calamagrostis arundinacea* оказалась около 30% от исходной массы (табл. 16), что составляет около 70% результата за год.

Таблица 16

**Потеря массы растительных остатков при разложении
за вегетационный период (62 дня) на ПП 2, 3 (вариант 2) и ПП 4**

Опытный участок	Растительный материал	Потеря массы к исходному весу, %			Средняя потеря массы к исходному весу, %
		Повт. 1	Повт. 2	Повт. 3	
Березняк (ПП 2)	<i>Calamagrostis arundinacea</i> (листья)	27.7	27.7	27.0	27.5
Осинник (ПП 3)	<i>Populus tremula</i> (листья)	10.7	17.0	10.3	12.7
	<i>Calamagrostis arundinacea</i> (листья)	25.8	32.6	30.4	29.6
Ельник (ПП 4)	<i>Hylocomium splendens</i> (зеленая часть)	10.6	9.3	11.0	10.3

Трансформация растительных остатков продолжается в осенний период, причем в зависимости от погодных условий с большей или меньшей интенсивностью. То же можно отметить и для мохообразных, у которых за лето разлагается до 55% от результата за год. Однако сравнение показателей (при сходной закономерности) позволяет выявить существенное количественное различие, связанное с типом растительности, оценить особенности биологического оборота органического материала в разных типах лесных экосистем.

Таким образом, поступающий на поверхность почвы растительный материал, в том числе лиственный опад древесных растений, разлагается в течение осеннего и летнего периодов. Активность разложения в летний период возрастает, составляя 55–70% от годовой интенсивности разложения в зависи-

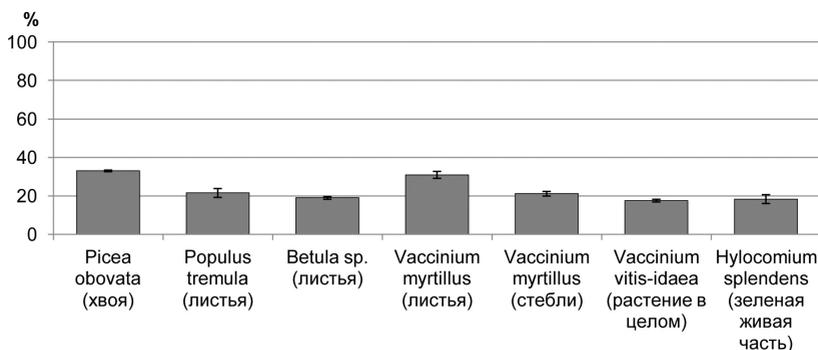


Рис. 8. Средняя потеря в весе (%) компонентов опада, травяно-кустарничкового и мохового покровов, разлагающихся в течение года на поверхности почвы ельника (ПП 4).

мости от вида доминирующих растений. В ельнике за год разлагается от 19 до 33% хвой и лиственного опада, 18% – мохообразных, что свидетельствует о заторможенном типе биологического оборота органического вещества, формировании моховой лесной подстилки. В лиственных экосистемах за год разлагается 26–35% лиственного опада и около 50% преобладающего в фитомассе напочвенного покрова вейника. Достаточно суровые зимние природно-климатические условия тормозят процесс разложения растительного материала. В целом, пониженная интенсивность разложения растительного материала в изученных типах лесных экосистем свидетельствует о заторможенном типе биологического оборота.

Почва, как компонент экосистемы, функционально связанный с биотой, приобретает характерные морфологические черты – органогенный биогенно-аккумулятивный слой (лесная подстилка), обеспечивающий устойчивое саморазвитие биоты именно в процессе биологического оборота растительного материала.

Физико-химические свойства почвы на ПП 2, 3 (вариант 2) и ПП 4

Почва в березняке и осиннике – слабоподзолистая слабодерновая суглинистая. Под влиянием преобладающих в древесном ярусе лиственных пород и травянисто-кустарничкового яруса под органогенным слоем в почве березняка оформляется гор. А1, в почве осинника – А0А1. Горизонт А2 характеризуется выносом фракции <0.001 мм при постепенном увеличении ее количества в нижних минеральных горизонтах (табл. 17).

Можно отметить, что гранулометрический состав пылеватых суглинков, на которых формируется почва, слабодерновая слабоподзолистая в березняке и осиннике, достаточно однородный. Оба почвенных разреза характеризуются сходством как по морфологическому строению, так и гранулометрическому составу.

Почва в ельнике (ПП 4) – подзол иллювиально-железистый на двучлене, с 70 см песчаная часть подстилается легко(средне)суглинистой породой. На этой глубине весьма резко возрастает доля фракций <0.01 мм и, соответственно, снижается количество фракции >0.01 (табл. 17). В почве четко проявляются характерные для подзолистого типа почв черты, а именно, вынос из гор. А2 пылеватых (0.005–0.001 мм) и илистых частиц (<0.001 мм), содержание которых значительно возрастает непосредственно под подзолистым горизонтом.

Таблица 17

Гранулометрический состав почв на ПП 2, 3 (вариант 2) и ПП 4

Горизонт, глубина, см	Гигро- скопиче- ская влага, %	Потеря от обра- ботки НСI	Содержание фракций, % (размер частиц в мм)				Сумма частиц >0.01	Сумма частиц <0.01		
			1-0.25	0.25-0.05	0.01- 0.005	0.005- 0.001				
Березняк разнотравный, ПП 2, почва слабодерновая слабоподзолистая										
A1 5-12	2.32	1.28	1.71	29.08	41.34	8.59	6.14	13.14	72.1	27.9
A2 12-19	1.09	0.62	0.62	19.91	54.99	7.68	8.09	8.71	75.5	24.5
B1 19-37	1.58	0.10	0.33	19.94	51.60	9.75	6.09	12.29	71.9	28.1
B2 37-53	2.24	0.64	0.18	14.52	53.57	6.54	5.73	19.46	68.3	31.7
BC 53-60	3.37	0.43	0.24	14.16	45.48	12.40	5.38	22.34	59.9	40.1
Осинник разнотравный, ПП 3, почва слабодерновая слабоподзолистая суглинистая										
A2 5-15(19)	0.84	0.06	1.69	45.80	31.06	6.86	6.45	8.13	78.6	21.4
B1 15(19)-29	1.62	0.70	1.00	29.61	39.83	7.32	6.50	15.74	70.4	29.6
B2 29-45	2.12	0.31	2.21	40.30	25.33	8.17	5.31	18.69	67.8	32.2
BC 48-55	3.33	0.37	0.94	33.39	31.41	7.44	5.37	21.45	65.7	34.3
Ельник чернично-зеленомошный, ПП 4, почва подзол иллквально-железистый на двучлене										
A2 8-29	0.17	0.05	0.50	91.43	4.81	0.80	0.40	2.06	96.7	3.3
Bf 30-40	1.12	0.55	0.42	86.89	3.64	0.40	1.21	7.42	91.0	9.0
Bf 40-53	1.58	0.00	0.37	89.07	2.03	0.41	1.63	6.50	91.5	8.5
B2 53-73	0.94	0.61	1.08	83.78	5.25	2.02	1.61	6.26	90.1	9.9
BC 73-83	2.80	0.12	0.97	50.80	24.26	6.17	7.81	9.99	76.0	24.0

Физико-химические свойства почв отражают не только различие по гранулометрическому составу, но и по составу растительного вещества, поступающего на поверхность почвы. В березняке и осиннике подстилку формируют травы и опад лиственных деревьев, имеющие высокую зольность с содержанием кальция и магния, обеспечивающих нейтрализацию образующихся органических кислот, их осаждение в зоне трансформации растительных остатков. В ельнике в напочвенном покрове преобладают мхи, медленно разлагающиеся и являющиеся источником водорастворимых органических кислот. Органические кислоты обуславливают повышенную кислотность минеральных горизонтов, непосредственно залегающих под органогенным слоем. По этой причине почва ельника характеризуется большей кислотностью по всему профилю по сравнению с почвой ПП 2, 3 (табл. 18).

Таким образом, в рассматриваемых почвах ПП 2 и 3, как и ПП 4, ясно проявляются признаки миграции из верхних

Таблица 18

Физико-химические свойства почв на ПП 2, 3 (вариант 2) и ПП 4

Горизонт, глубина, см	рН _{водн.}	С _{орг.} %	N _{гидр.}	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺
			мг/100 г			ммоль/100 г	
Березняк разнотравный, ПП 2, почва слабодерновая слабоподзолистая суглинистая							
A0 0–6	5.85	9.14	7.28	7.85	40.45	27.09	4.65
A1 5–12	5.44	4.52	5.18	3.99	22.30	14.59	2.58
A2 12–19	4.83	0.61	6.47	2.85	4.65	2.17	0.80
B1 19–37	4.90	0.44	1.40	7.89	5.45	2.19	0.80
B2 37–53	4.98	0.31	2.30	20.81	6.15	2.66	0.99
BC 53–60	5.04	0.29	1.68	18.33	8.65	4.18	1.32
Осинник разнотравный, ПП 3, почва слабодерновая слабоподзолистая суглинистая							
A0A1 0–5 (7)	5.19	4.70	4.65	6.39	28.55	8.46	1.49
A2 5 (7)–15 (19)	4.79	0.63	1.79	2.18	8.45	1.51	0.47
B1 15 (19)–29	5.01	0.30	1.40	4.66	11.00	2.74	1.01
B2 29–45	5.19	0.34	0.90	3.75	9.30	4.10	1.45
BC 48–55	5.23	0.29	1.57	4.98	7.85	5.07	1.97
Ельник чернично-зеленомошный, ПП 4, почва иллювиально-железистый подзол на двучлене							
A00–8	4.78	20.2	35.4	3.16	108.50	17.11	3.14
A2 8–29	4.23	0.20	11.7	0.41	1.75	0.31	0.17
Bf 30–40	4.74	0.34	2.07	3.99	1.95	0.36	0.19
Bf 40–53	4.88	0.76	2.86	12.14	0.75	0.30	0.16
B2 53–73	4.70	0.21	1.06	12.50	0.70	0.28	0.18
BC 73–83	4.87	0.26	1.01	8.36	1.40	1.40	0.84

минеральных горизонтов фракции <0.01 (с учетом двучлена в ельнике). Некоторое различие, скорее всего, связано с отличиями состава и обилия отдельных видов растительного сообщества (скорости минерализации растительных остатков), количеством мигрирующих водорастворимых органических веществ. В рассматриваемых почвах, соответственно, отмечено профильное изменение состава гуминовых веществ – аккумуляция гуминовых кислот в биогенно-органогенном слое, т.е. дифференциация происходит под биогенно-аккумулятивным слоем.

Во всех исследованных почвах содержание органического углерода резко снижается под органо-аккумулятивным слоем, оставаясь в пределах 0.2–0.6% в нижних горизонтах, определяемых сорбционной способностью минеральной массы песчаного или суглинистого состава.

По сравнению с листовенно-травянистой, более активно минерализующейся подстилкой в почве листовенного леса, оторфованная в нижней части моховая подстилка в ельнике выделяется наибольшим содержанием органического углерода. Иллювиальный горизонт в песчаной почве ельника характеризуется увеличением содержания $C_{орг.}$, закрепляемого в виде органо-железистых комплексов.

Элементы-биогены аккумулярованы в органогенном слое рассматриваемых почв, что характерно для всех таежных экосистем. Отметим, что биогенно-аккумулятивный горизонт почвы осинника содержит меньшее количество элементов-биогенов, чем такой же горизонт почвы березняка. Это связано с качественным составом органического (растительного) материала. Зафиксированное в гор. А0 почвы ельника достаточно высокое количество K_2O , по-видимому, связано с его повышенным содержанием в зеленых мхах, преобладающих в напочвенном покрове ельника.

Состав органического вещества представлен в табл. 19. В почве ельника наиболее высоким содержанием гуминовых веществ (ГВ) и наиболее низким содержанием фульвокислот характеризуется органо-аккумулятивный гор. (А0).

В суглинистых почвах на ПП 2 и 3 проявляются признаки как общие для подзолистых почв, так и определяемые типом лесного сообщества. В почвах березняка и осинника под органогенным слоем (лесная подстилка) содержание гумуса также резко убывает. В составе гумуса органогенного слоя (гор. А0А1, А1) аккумулярованы гуминовые вещества, причем преобладают фракции 1 и 3, как и в гор. А2, но в меньшем количестве.

Таблица 19

Состав органического вещества в почвах на ПП 2, 3 (вариант 2) и ПП 4

Горизонт, глубина, см	Фракции гуминовых кислот			Фракции фульвокислот					Σ ГК+ФК	C _{гк} ·C _{фк}	Нерастворимый остаток	
	1	2	3	Σ	1а	1	2	3				Σ
Березняк разнотравный, ПП 2, почва слабодерновая слабоподзолистая суглинистая												
A0 0–6	6.92	5.94	9.59	22.45	2.24	12.44	8.07	8.31	31.06	53.51	0.72	46.49
A1 5–12	8.58	6.12	8.09	22.79	3.36	13.26	7.09	8.94	32.65	55.44	0.70	44.56
A2 12–19	5.71	6.79	4.11	16.61	13.57	13.75	11.25	6.60	45.17	61.78	0.37	38.22
Осинник разнотравный, ПП 3, почва слабодерновая слабоподзолистая суглинистая												
A0A1 0–5 (7)	7.37	4.91	7.37	19.62	2.54	12.89	5.01	8.77	29.21	48.83	0.67	51.17
A2 5 (7) –15 (19)	6.94	4.31	5.28	16.53	7.92	10.14	15.41	7.91	41.38	57.91	0.40	42.09
B1 15 (19) –29	1.75	3.75	1.75	7.25	13.75	7.0	9.25	6.25	36.25	43.50	0.20	56.50
Ельник чернично-зеленомошный, ПП 4, почва иллювиально-железистый подзол на двучлене												
A0 0–8	9.13	5.48	6.57	21.18	1.43	12.24	6.15	6.89	26.71	47.89	0.79	52.11
A2 8–29	5.0	1.43	3.57	10.0	4.29	20.01	3.92	7.14	35.36	45.36	0.28	54.64
Bf 30–40	6.67	1.93	1.58	10.18	36.84	5.61	13.86	3.68	59.99	70.17	0.17	29.83

Глава 3

ХАРАКТЕРИСТИКА БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПОЧВЫ НА ОБЪЕКТАХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Одним из основных компонентов биоты, участвующих в деструкции органических (растительных) остатков и обороте веществ в экосистемах, являются почвенные микромицеты (Хабибуллина, 2001; Посттехногенные экосистемы..., 2002).

Изменение состава микромицетов и микробной биомассы в почве на ПП 1 (вариант 1)

Состав микромицетов в почве травянистой экосистемы. На сохраняющемся участке травянистой экосистемы, как отмечено в гл. 2, в процессе сукцессии изменяется состав растений за счет выпадения злаков, в связи с чем постепенно разрушается дернина. С качественно-количественным преобразованием поступающего на поверхность почвы растительного материала закономерно преобразуется состав микробиоты. Так, по сравнению с данными 1998 г., результаты анализа, выполненного в 2004 г., показали появление новых доминирующих видов микроскопических грибов: темно- и светлоокрашенного стерильного мицелия из порядка *Mycelia sterilia* и 17 видов микромицетов, относящихся к восьми родам и двум отделам. Отдел *Zygomycota* представлен видом *Mucor* sp., отдел *Ascomycota* – *Chaetomium* sp., а также видами формального класса *Anamorphic fungi* – *Geomyces pannorum*, *Monilia koningii*, *Trichoderma album*, *T. atroviride*, *T. viride*, *T. koningii*, *Geotrichum candidum*, *Cladosporium cladosporioides*, *C. herbarum*, *Penicillium tardum*, *P. jensenii*, *Paecilomyces lilacinus*, *Paecilomyces* sp. Отмеченное увеличение видового разнообразия микромицетов по сравнению с 1998 г. (Посттехногенные экосистемы..., 2002) связано, по-видимому, с преобразованием травянистого сообщества. Сходство видового состава грибов по Жаккару для микоценоза травянистой экосистемы в 1998 и 2004 гг. составило 50%. Это свидетельствует о происходящем изменении микробного сообщества в еще остающейся ча-

сти многолетней травянистой экосистемы. По данным 2013 г., наблюдается дальнейшее изменение состава микромицетов в биогенно-аккумулятивном слое сохраняющейся травянистой экосистемы. Выделено уже 25 видов микромицетов, относящихся к девяти родам. Состав пополнился микроскопическими грибами: *Mortierella pygmaea*, *M. verticillata*, *M. vinacea*, *Mucor globosus*, *M. hiemalis*, *Penicillium griseolum*, *P. multicolor*, *P. thomii*, *Trichoderma polysporum*, *T. sympodiantum*. Это связано с изменением состава и ценотической роли травянистых растений и, как следствие, качественных характеристик и количества отмирающей растительной массы и продуктов их разложения.

Видовой состав микромицетов в почве парцелл древесных растений. Как отмечено ранее, формирование древесного яруса на ПП 1 происходит древесно-кустарниковыми парцеллами, возраст древесных растений на 2013 г. составляет около 20 лет. При оформлении древесного яруса произошло преобразование растительного сообщества и микробного комплекса почвы.

Анализ результатов, полученных в 2013 г., показал четкие различия в видовом составе микромицетов в почвах сохранившегося травянистого сообщества и парцелл древесных пород.

В почве парцеллы березы наибольшее видовое разнообразие микроскопических грибов приходится на еще небольшой по мощности органо-аккумулятивный слой – подстилку. В ней выделено 37 видов, под подстилкой, в минеральном слое, – только 15. Высокой частотой встречаемости и обилием в березовой парцелле характеризуются виды: *Mucor hiemalis*, *M. circinelloides*, *Cladosporium herbarum*. Обнаружены виды микромицетов, нехарактерные для травянистого сообщества: *Thamnidium elegans*, *Aureobasidium pullulans*, *Monocillium sp.*, *Paecilomyces farinosus*, *P. inflatus*, *P. carnes*, *Penicillium alboaurantium*, *P. albo-cinerascens*, *P. aurantio-candidum*, *P. cyclopium*, *P. kursanovii*, *P. aclerotiorum*, *Sporodinia grandis*.

В почве парцеллы сосны в маломощной травянисто-моховой подстилке выделено 32 вида, в минеральном слое под подстилкой – 17 видов микроскопических грибов. Так же как и в березовой парцелле, новыми видами микромицетов, нехарактерными для травянистого сообщества, являются *Paecilomyces farinosus*, *P. Inflatus*. Выделены также микромицеты, характерные только для почвы, формирующейся под хвойными деревьями: *Aspergillus flavus*, *Chrysosporium merdarium*, *Oospora variabilis*. Доминируют *Penicillium griseolum*, *Trichoderma*

koningii, *Cladosporium cladosporioides*. Общими видами с микоценозом почв под сохранившейся травянистой растительностью являются: *Mucor globosus*, *Geomyces pannorum*, *Cladosporium herbarum*, *Cl. Cladosporioides*, *Penicillium griseolum*, *P. multicolor*, *P. thomii*, *Trichoderma polysporum*.

Микробная биомасса в почвах ПП 1. Анализ микробной биомассы, по данным 2004 и 2013 гг., показал, что в почве травянистой экосистемы максимальная биомасса микроорганизмов была отмечена в 2004 г. По данным 2013 г., биомасса спор грибов и бактерий в органогенном горизонте почвы понижалась на несколько порядков (табл. 20).

В почве древесных парцелл наибольшая концентрация микробной биомассы (до 93%), как и следовало ожидать, сосредоточена в органогенных горизонтах. Наибольшая биомасса грибного мицелия и спор отмечена в подстилке березовой парцеллы, наименьшая – сосновой. Доля бактериальной массы незначительна, она составляла 0.02–0.66% от общей микробной биомассы в обеих парцеллах.

Как отмечено выше (гл. 2), с изменением состава и структуры растительного сообщества преобразуется строение биогенно-аккумулятивного слоя в процессе самовосстановительной сукцессии на техногенном наносе. Важно подчеркнуть, что биогенно-аккумулятивный слой имеет небольшую мощность. Поступление элементов питания для самовозобновле-

Таблица 20

Биомасса микроорганизмов в почвах под травянистым сообществом и древесными парцеллами (ПП 1), мг/г

Горизонт, глубина, см	Мицелий грибов	Споры грибов	Бактерии
Травянистая экосистема – 2004 г.			
A _{дер.} 0–2 (5)	1.24	0.2	0.05
A1 2–5 (10)	0.74	0.3	0.07
Травянистая экосистема – 2013 г.			
A _{дер.} 0–2 (5)	0.2	0.02	0.0007
A1 2–5 (10)	0.07	0.008	2.09×10 ⁻⁵
Парцелла березы – 2013 г.			
A0 0–2 (5)	0.44	0.04	0.001
A1 2–5 (10)	0.01	0.05	1.35×10 ⁻⁵
Парцелла сосны – 2013 г.			
A0 0–2 (5)	0.28	0.02	0.002
A1 2–5 (10)	0.06	0.005	1.5×10 ⁻⁵

ния сообщества биоты связано с составом и количеством отмирающей фитомассы, интенсивности ее разложения. При этом следует иметь в виду важность на начальном этапе формирования микробного сообщества ризосферного эффекта, а именно, роль в питании микроорганизмов корневых выделений растений. Именно с ним связано начало формирования микробной составляющей биоты как сложного компонента экосистемы.

Накопление фитомассы, ее трансформация на поверхности осваиваемого биотой субстрата является фактором дальнейшего изменения субстрата, его обогащения элементами питания растений, обеспечивающих устойчивое самовозобновление растительного сообщества и биотической компоненты в целом. Иными словами, с накоплением фитомассы нового качественно-количественного состава на поверхности субстрата, формированием механизма биологического оборота органического вещества оформляется биогенно-аккумулятивный слой – компонент любой экосистемы, обеспечивающий ее устойчивость как целостного образования. Качественно-количественное преобразование биотической компоненты в ходе самовосстановительной сукцессии определяет соответствующую трансформацию осваиваемого растительным сообществом субстрата.

Наши материалы согласуются с данными Г.И. Махониной (Махонина, 1976, 2003). Она отмечает, что восстановление «мертвых послепромышленных» земель (т.е. по варианту 1) идет под преобразующим воздействием естественной растительности, начинаясь с нуля, занимает длительный период (18–40 лет на промышленных отвалах Урала). По составу гумус новообразованного продуктивного слоя почвы имеет сходство с гумусом почв зонального типа для конкретного региона.

Результаты исследования самовосстановительной сукцессии на варианте 1 позволяет заключить, что основой почвообразования является процесс аккумуляции и биогенной (микробиологической) трансформации растительной морт-массы. Значение почвы как функционально связанного с биотой компонента экосистемы определяется тем, что она становится носителем запаса питательных веществ и условием устойчивого самовоспроизводства биоты (растительного сообщества и микробиоты). Таким образом, почвенное разнообразие (своеобразие), а также ее микроценоз формируются в полном соответствии с типом (разнообразием) растительного сообщества (Посттехногенные экосистемы..., 2002).

Характеристика микобиоты в почве на ПП 2, 3 (вариант 2)

На ПП 2, 3, заложенных в спелых производных лиственных лесах (березняк, осинник), отчетливо выражены парцеллы лиственных и хвойных деревьев. Почва в соответствии с поступлением в биологический оборот органического вещества лиственно-травянистого состава характеризуется развитием гумусового гор. А1.

Березняк разнотравный (ПП 2). Подавляющее количество микромицетов сосредоточено в гор. А0, уменьшаясь в гор. А1. При этом в обоих ясно выражено сезонное колебание количества микроорганизмов. Так, в летний период численность микромицетов в подстилке (гор. А0) составляла 638 тыс. КОЕ/г а.с.п., в гор. А1 – 365 тыс., что почти в два раза меньше, чем в А0. Осенью в гор. А0 общее количество микромицетов увеличилось до 712 тыс. КОЕ/г а.с.п., что связано, видимо, с поступлением свежего (лиственно-травяного) растительного опада. В отличие от гор. А0, отмечено существенное снижение в осенний срок количества микроскопических грибов в гор. А1 до 152 тыс. КОЕ/г а.с.п.

В парцелле березы в органогенном слое (А0) в летний период выделено 29 видов микромицетов из 11 родов, относящихся к отделам *Zygomycota*, *Ascomycota* (*Anamorphic fungi*), а также определена *Mycelia sterilia* (Moniliac.) (табл. 21). Подавляющее число видов относится к *Anamorphic fungi* – 22 вида из восьми родов (*Cladosporium*, *Fusarium*, *Geomyces*, *Penicillium*, *Trichoderma*, *Paecilomyces*, *Monilia*, *Gliocladium*). Отдел *Zygomycota* представлен восемью видами из трех родов: *Mucor*, *Mortierella*, *Umbelopsis*.

Следует отметить, что в осенний срок видовой состав грибов был несколько богаче в гор. А0 и составил 34 вида из отделов *Zygomycota*, *Ascomycota*, формального класса *Anamorphic fungi*, (табл. 22). Зигомицеты представлены 12 видами, в летний период отмечено 8. Увеличение отмечено за счет появления видов новых родов *Thamnidium*, *Sporodinia*. В отделе *Ascomycota*, отсутствовавшем в летних пробах, выявлен активный целлюлозолитик – *Chaetomium globosum*. Из анаморфных аскомицетов выделен 21 вид из семи родов (*Acremonium*, *Aspergillus*, *Aureobasidium*, *Geomyces*, *Penicillium*, *Trichoderma*, *Spicaria*). В отсутствовавшем в летних пробах роде *Aspergillus* осенью выделены два новых вида, а из рода *Acremonium* – один. Род *Trichoderma* пополнился видом-целлюлозолитиком *T. koningii*. Выявлены новые виды из рода *Penicillium*. В осенний период отмечено отсутствие представителей рода *Paecilomyces*.

Таблица 21

**Видовой состав микромицетов в почве ПП 2, 3 (вариант 2)
и ПП 4 в летний период**

Вид	Березняк			Осинник		Ельник		
	Горизонт						A0	A2
	A0	A1	A2	A0A1	A2			
Отдел Zygomycota								
<i>Mortierella alpina</i> Peyronel.	+	+	+	+	+	-	+	
<i>M. candelabrum</i>	+	+	+	-	-	-	+	
<i>M. schmuckeri</i> Linnem.	-	-	-	-	+	-	-	
<i>M. verticillata</i> Linnem.	+	+	+	-	+	-	+	
<i>Mortierella</i> sp.	+	+	+	-	-	-	+	
<i>Mucor globosus</i> A. Fischer	-	-	-	-	-	+	-	
<i>Umbelopsis ramanniana</i> (Möller) W. Gams	+	+	+	-	+	-	+	
<i>Umbelopsis vinacea</i> (Dixon-Stew.) Arx	+	+	+	-	-	-	+	
<i>M. hiemalis</i> Wehmer	+	-	-	-	-	-	-	
<i>M. racemosus</i> Fres.	-	-	-	-	-	+	-	
<i>M. circinelloides</i> Tiegh.	+	+	-	-	-	-	-	
<i>Mucor</i> sp.	-	-	-	-	+	-	-	
Отдел Ascomycota (Anamorphic fungi)								
<i>Aureobasidium pullulans</i> (de Bary) G. Arnaud	-	-	-	-	+	-	-	
<i>Geomyces pannorum</i> (Link) Hugkes	+	-	-	-	+	-	-	
<i>Cladosporium cladosporioides</i> (Fres.) de Vries	+	+	-	-	+	-	-	
<i>Cladosporium</i> sp.	+	-	-	-	-	-	-	
<i>Fusarium</i> sp.	+	-	-	-	-	-	-	
<i>Monilia geophila</i> Oudemans	+	-	-	-	-	-	-	
<i>Paecilomyces carneus</i> (Duché & R. Heim) A.H.S. Br. & G. Sm.	-	-	-	-	-	+	-	
<i>Paecilomyces</i> sp.	+	+	+	-	+	-	-	
<i>Gliocladium</i> sp.	+	-	-	-	-	-	-	
<i>Penicillium alboaurantium</i> G. Sm.	+	-	-	-	+	-	-	
<i>P. albocinerascens</i> Chalab.	+	-	-	-	+	-	+	
<i>P. brevicompactum</i> Dierckx	+	-	-	-	-	-	-	
<i>P. canescens</i> Sopp	+	-	-	-	-	-	-	
<i>P. cremeogriseum</i> Chalab.	-	-	-	-	-	+	+	
<i>P. cremeoatrum</i> Chalab.	-	-	-	-	-	+	-	
<i>P. cinerascens</i> Biourge	-	-	-	-	+	-	-	
<i>P. essuveidense</i> Baghdadi.	+	-	-	-	-	-	-	
<i>P. griseolum</i> G. Sm.	-	-	-	+	+	-	-	
<i>P. kursanovii</i> Chalabuda	-	-	-	-	+	+	-	
<i>P. multicolor</i> Novobr.	-	-	-	-	-	-	+	
<i>P. odorotum</i> Christ.et Backus	+	-	-	-	-	-	-	

Окончание табл. 21

Вид	Березняк			Осинник		Ельник		
	Горизонт						A0	A2
	A0	A1	A2	A0A1	A2			
<i>P. simplicissimum</i> (Oud.) Thom	+	–	–	–	–	–	–	
<i>P. turbatum</i> Westling	+	–	–	–	–	–	–	
<i>P. thomii</i> Maire	+	–	–	–	–	–	–	
<i>P. variabile</i> Wehmer	+	–	–	–	–	–	–	
<i>Penicillium</i> sp1.	–	–	–	–	–	–	+	
<i>Trichoderma harzianum</i> Rifai	–	–	–	–	–	–	+	
<i>T. hamatum</i> (Bonord.) Bainier	+	–	–	–	–	+	+	
<i>T. koningii</i> Oudemans	–	–	–	–	–	+	+	
<i>T. polysporum</i> Link ex Fries	+	–	–	–	–	+	+	
<i>T. sympodianum</i> Kulik	–	–	–	–	–	+	+	
<i>T. viride</i> Persoon ex Fries	+	–	–	–	–	+	+	
<i>Trichoderma</i> sp.	–	–	–	–	–	+	+	
<i>Mycelia sterilia</i>								
<i>Mycelia sterilia</i> (Moniliac.)	+	+	–	+	+	+	+	
<i>Mycelia sterilia</i> (Dematiac.)	+	–	–	–	–	–	–	
Всего	29	10	7	3	15	13	18	

Примечание: образцы почвы отобраны 28.07.2010 г.; «–» – отсутствие вида, «+» – присутствие.

В летний период из гор. А1 выделено 11 видов, относящихся к отделу *Zygomycota*, *Anamorphic fungi*. При этом из отдела *Zygomycota* – семь видов из родов *Mucor*, *Mortierella*, *Umbelopsis*., из анаморфных грибов – по одному из родов *Penicillium*, *Aspergillus* и *Mycelia sterilia* (Moniliac.) (табл. 21).

Осенью в гор. А1 зафиксировано пять видов из родов *Mucor*, *Mortierella*, *Umbelopsis* и восемь видов из родов *Aspergillus*, *Penicillium* и *Mycelia sterilia* (Moniliac.).

Из гор. А2 в летний период выделено всего семь видов грибов: шесть – из родов *Mucor*, *Mortierella*, *Umbelopsis*, один – из анаморфных грибов и *Mycelia sterilia* (Moniliac.). В осенних пробах в почве гор. А2 определено четыре вида из родов *Mortierella*, *Umbelopsis*.

Осинник разнотравный (ППЗ). Здесь следует отметить не столь ясное, как в березняке, морфологическое выделение гор. А1. В органогенном слое (А0А1) почвы осинника в летний период количество микромицетов от 925 тыс. КОЕ/г а.с.п. резко уменьшается в гор. А2 до 39 тыс., закономерно отражая разграничение по содержанию органического вещества биогенно-аккумулятивного слоя от минеральной породы под ним. В осенних пробах в слое А2 численность микромицетов по сравнению с летним периодом возрастает до 141 тыс. КОЕ/г а.с.п.

Из приведенных данных видно, что сезонные изменения численности микроскопических грибов в органогенном гор. А0А1 и в минеральном гор. А2 заметно различаются. Увеличение количества микромицетов в гор. А2 осенью связано, видимо, с появлением свежего опада на поверхности почвы и выносом в минеральный горизонт водорастворимых органических соединений. Следует отметить, что общее количество видов микроскопических грибов в оба периода в осиннике меньше, чем в березняке, что связано, по-видимому, с отличиями морфологического строения органогенных слоев в почвах.

В летних пробах в осиннике из органогенного горизонта было выделено всего три вида микромицетов: один из отдела *Zygomycota* (бесцветные колонии *Mortierella alpina*), один – *Anamorphic fungi* (*Penicillium griseolum*) и *Mycelia sterilia* (Moniliac.). Минеральный слой почвы (гор. А2) характеризовался видами грибов из *Zygomycota*, *Anamorphic fungi*, и *Mycelia sterilia* (Moniliac.). Из отдела *Zygomycota* выделено 15 видов грибов, из которых пять относятся к родам *Mucor*, *Umbelopsis*. Из анаморфных аскомицетов выявлено девять видов из трех родов – *Geomyces*, *Cladosporium*, *Penicillium* (табл. 21, 22).

Осенние пробы из органогенного горизонта почвы в осиннике (табл. 22) так же, как и летние, характеризовались небольшим числом видов: три из отдела *Zygomycota* (*Mortierella alpina*, *Mucor* sp., *M. circinelloides*), два – из *Anamorphic fungi* (*Penicillium griseolum*, *P. canescens*), а также *Mycelia sterilia* (Moniliac.).

Состав грибов в минеральном гор. А2 несколько сократился с 15 видов летом до 10 – осенью (табл. 22), причем общими оставались только три вида грибов – *Umbelopsis ramanniana*, *Mucor* sp., *Penicillium griseolum*. В осенних пробах возросла общая численность грибов в гор. А2, где КОЕ составило 141 тыс./г а.с.п., тогда как данный показатель в июле был равен 39 тыс.

Следует отметить, что в почве осинника, как и березняка, преобладают представители одних и тех же отделов, однако в березняке они разнообразнее в видовом отношении.

Осенью закономерно появляются виды микромицетов, участвующие в разложении растительных остатков: *Mortierella ericetorum*, *M. jenkinsii*, *M. mutabilis*, виды рода *Aspergillus*, а также виды *Spicaria cephalospora*, *Trichoderma fasciculatum*, *Chaetomium globosum*, *Thamnidium elegans*, *Sporodinia grandis*.

Таблица 22

Видовой состав микромицетов в почве ПП 2, 3 (вариант 2) и ПП 4
в осенний период

Вид	Березняк			Осинник		Ельник	
	Горизонт						
	A0	A1	A2	A0A1	A2	A0	A2
Отдел <i>Zygomycota</i>							
<i>Mortierella alpina</i> Peyronel.	-	-	-	-	-	+	-
<i>M. ericetorum</i> Linnem.	-	-	-	-	+	-	-
<i>M. jenkinsii</i> (A.L. Sm.) Naumov	+	-	-	-	-	-	-
<i>M. mutabilis</i> Linnem.	+	-	-	-	-	-	-
<i>M. verticillata</i> Linnem.	+	+	+	-	+	+	-
<i>Mortierella</i> sp.1	-	-	-	-	-	+	-
<i>Mortierella</i> sp.2	+	+	+	-	+	+	-
<i>Umbelopsis ramanniana</i> (Moller) Linn.	+	+	+	+	+	+	-
<i>Umbelopsis vinacea</i> Dixon- Stewart	+	+	+	-	+	+	-
<i>Mucor globosus</i> A. Fischer	+	-	-	-	-	+	+
<i>M. hiemalis</i> Wehmer	+	-	-	-	-	+	+
<i>M. racemosus</i> Fres.	-	-	-	-	-	+	+
<i>M. circinelloides</i> Tiegh.	+	+	-	+	+	-	-
<i>M. plumbeus</i> Bonord.	-	-	-	-	-	+	-
<i>Mucor</i> sp.	+	-	-	+	+	-	-
<i>Thamnidium elegans</i> Link	+	-	-	-	-	+	-
<i>Sporodinia grandis</i> Link	+	-	-	-	-	-	+
Отдел <i>Ascomycota</i>							
<i>Chaetomium globosum</i> Kunze et Fr.	-	-	-	-	-	+	+
<i>Anamorphic fungi</i>							
<i>Acremonium vitis</i> Catt.	+	-	-	-	-	-	-
<i>Aspergillus alliaceus</i> Thom & Church	+	+	-	-	-	-	-
<i>A. flavipes</i> (Bainier & R. Sartory) Thom & Church	+	+	-	-	-	-	-
<i>Aspergillus</i> sp.	+	-	-	-	-	-	-
<i>Aureobasidium pullulans</i> (de Bary) G. Arnaud	+	-	-	-	-	-	-
<i>Geomyces pannorum</i> (Link) Hugkes	+	-	-	-	+	+	+
<i>Cylindrocarpon tenue</i> Bugn.	-	-	-	-	-	+	+
<i>Paecilomyces carneus</i> (Duché & R. Heim) Br. & G. Sm.	-	-	-	-	-	+	-
<i>Penicillium aalboaurantium</i> G. Sm.	+	+	-	-	-	-	-
<i>P. albocinerascens</i> Chalab.	+	+	-	-	-	-	-
<i>P. aurantiocandidum</i> Dierckx & Biourge	+	-	-	-	+	-	-

Окончание табл. 22

Вид	Березняк			Осинник		Ельник		
	Горизонт						A0	A2
	A0	A1	A2	A0A1	A2			
<i>P. canescens</i> Sopp	+	+	–	+		–	–	
<i>P. cyclopium</i> Westling	+	–	–	–	–	–	–	
<i>P. es-suveidense</i> Baghdadi.	–	+	–	–	–	–	–	
<i>P. griseolum</i> G. Sm.	–	–	–	+	+	+	–	
<i>P. fellutanum</i> Biourge	+	–	–	–	–	–	–	
<i>P. kursanovii</i> Chalabuda	+	+	–	–	–	–	–	
<i>P. multicolor</i> Novobr.	+	–	–	–	–	+	+	
<i>P. fuscum</i> (Sopp) Raper & Thom	–	–	–	–	–	+	+	
<i>P. sclerotiorum</i> Beyma	+	–	–	–	–	–	–	
<i>Penicillium</i> sp. 2	+	+	–	–	–	–	–	
<i>Penicillium</i> sp. 3	–	–	–	–	–	+	+	
<i>Rhinocladium sporotrichoides</i> Kamyschko	–	–	–	–	–	+	–	
<i>Spicaria cephalospora</i> Kamyschko	+	–	–	–	–	–	–	
<i>T. fasciculatum</i>	–	–	–	–	–	–	+	
<i>Trichoderma koningii</i> Oudemans	+	–	–	–	–	+	–	
<i>T. polysporum</i> Link ex Fries	+	–	–	–	–	+	–	
<i>T. sympodianum</i> Kulik	–	–	–	–	–	+	–	
<i>T. viride</i> Persoon ex Fries	+	–	–	–	–	+	–	
<i>Trichoderma</i> sp.	+	–	–	–	–	+	–	
<i>Mycelia sterilia</i>								
<i>Mycelia sterilia</i> (Moniliac.)	+	+	–	+	–	+	+	
<i>Mycelia sterilia</i> (Dematiac.)	+	–	–	–	–	–	–	
Всего	34	14	4	6	10	26	12	

Примечание: образцы почвы отобраны 08.10.2010 г.; «–» – отсутствие вида, «+» – присутствие.

По результатам исследований установлено, что органо-генный слой почвы в обеих экосистемах выделяется максимальным количеством грибов. В минеральных слоях оно резко убывает. Количественно-качественный состав микромицетов характеризуется сезонным изменением в течение вегетационного периода. Особенности состава и численности пула микромицетов определяются типом лесной экосистемы, составом растительных остатков, активностью их разложения, свойствами органо-генного слоя.

Биомасса и эколого-трофические группы микроорганизмов в почве ПП 2, 3 (вариант 2) и ПП 4

Биомасса микроорганизмов. В почве ПП 2-4 во все сроки наблюдений биомасса мицелия грибов характеризовалась максимальными величинами в органогенных горизонтах и резким уменьшением в минеральных (табл. 23). Следует подчеркнуть, что в летний период существенно меньшую величину массы грибного мицелия в органогенных слоях почвы в лиственных лесных экосистемах (березняке – 3.24 мг/г, осиннике – 1.42) по сравнению с ельником (27.14 мг/г). Различие закономерно связано с разным типом органогенных слоев (лиственно-травянистый слой, моховая подстилка), качественно-количественным составом растительных остатков. В осенний период, т.е. к концу вегетации, отмечено снижение массы грибного мицелия.

В минеральных горизонтах также проявляются сезонные колебания массы грибного мицелия (табл. 23), однако они неодинаковы в разных типах леса. Так, в ельнике и осиннике осенью по сравнению с летним периодом выявлено ее увеличение в гор. А2 соответственно (0.65→2.20 мг/г и 0.31→0.34 мг/г), а в березняке в гор. А1 – небольшое уменьшение (0.62→0.48 мг/г).

Доля спор в общей массе микроорганизмов в летний период в органогенных горизонтах почв в березняке и осиннике более высокая – 22%, чем в моховой подстилке почвы ельника (гор. А0), где она составляет только 2%, что определяется типом органогенного слоя. Осенью отмечено резкое уменьшение доли спор в органогенных слоях почвы на всех ПП.

Установлено, что в ельнике доля бактерий в гор. А0 ничтожно мала как в летний, так и в осенний сроки (0.05 и 0.13%). В гор. А0 в березняке ее величина составила 3.3 и 4.6% соответственно, тогда как в осиннике (гор. А0А1) – 0.05 и 0.4%. Эти показатели согласуются с морфологическими и физико-химическими характеристиками почв исследуемых типов лесных экосистем.

Таким образом, выявлена общая закономерность – основная биомасса микроорганизмов приурочена к органогенным горизонтам, где ее величина в почве ельника достигала в летний период 27.14 мг/г. При этом основную организацию микробного пула определяют грибы. На долю почвенных микромицетов приходится подавляющая часть микробной массы – 97–99%.

Таблица 23

Биомасса микроорганизмов в почве ПП 2-4, мг/г (под чертой – %)

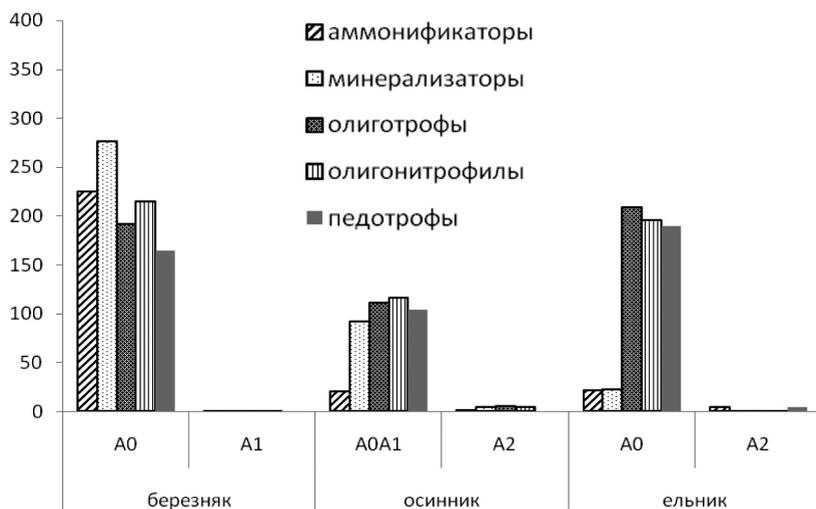
Горизонт	Бактерии	Актиномицеты	Грибы, мицелий	Споры	Всего
Ельник (июль, 2010 г.)					
A0	<u>0.015</u> 0.05	<u>0.150</u> 0.54	<u>27.140</u> 97.40	<u>0.570</u> 2.04	<u>27.875</u> 100
A2	<u>0.002</u> 0.23	<u>0.050</u> 5.80	<u>0.650</u> 75.41	<u>0.160</u> 18.56	<u>0.862</u> 100
Березняк (июль, 2010 г.)					
A0	<u>0.140</u> 3.25	<u>0</u> 0	<u>3.240</u> 75.17	<u>0.930</u> 21.58	<u>4.310</u> 100
A1	<u>0.004</u> 0.40	<u>0</u> 0	<u>0.620</u> 61.75	<u>0.380</u> 37.85	<u>1.004</u> 100
Осинник (июль, 2010 г.)					
A0A1	<u>0.001</u> 0.05	<u>0</u> 0	<u>1.420</u> 77.98	<u>0.400</u> 21.97	<u>1.821</u> 100
A2	<u>0.002</u> 0.62	<u>0</u> 0	<u>0.310</u> 96.27	<u>0.010</u> 3.11	<u>0.322</u> 100
Ельник (октябрь, 2010 г.)					
A0A1	<u>0.003</u> 0.13	<u>0</u> 0	<u>2.260</u> 98.99	<u>0.020</u> 0.88	<u>2.280</u> 100
A2	<u>0.001</u> 0.08	<u>0</u> 0	<u>1.240</u> 99.28	<u>0.008</u> 0.64	<u>1.250</u> 100
Березняк (октябрь, 2010 г.)					
A0	<u>0.080</u> 4.61	<u>0.05</u> 2.88	<u>1.580</u> 91.12	<u>0.024</u> 1.38	<u>1.730</u> 100
A1	<u>0.002</u> 0.38	<u>0.03</u> 5.75	<u>0.480</u> 91.95	<u>0.01</u> 1.92	<u>0.520</u> 100
Осинник (октябрь, 2010 г.)					
A0A1	<u>0.004</u> 0.38	<u>0.050</u> 4.71	<u>0.990</u> 93.22	<u>0.018</u> 1.69	<u>1.062</u> 100
A2	<u>0.005</u> 1.27	<u>0.040</u> 10.18	<u>0.340</u> 86.51	<u>0.008</u> 2.03	<u>0.393</u> 100

Эколого-трофические группы микроорганизмов (ЭКТГМ).

Наибольшее количество всех ЭКТГМ сосредоточено в органо-генных горизонтах почв (рис. 9).

В летний период в органо-генных горизонтах почв активизировалась деятельность основных групп микроорганизмов (аммонификаторы, минерализаторы). При этом наибольшим их содержанием характеризовался органо-аккумулятивный слой почвы березняка, наименьшим – осинника. Летом в подстилке почвы ельника достаточно высока активность микробиоты, способной довольствоваться низким содержанием органики (олиготрофы, олигонитрофилы, педотрофы – потребля-

28.07.2010 г.



8.10.2010 г.

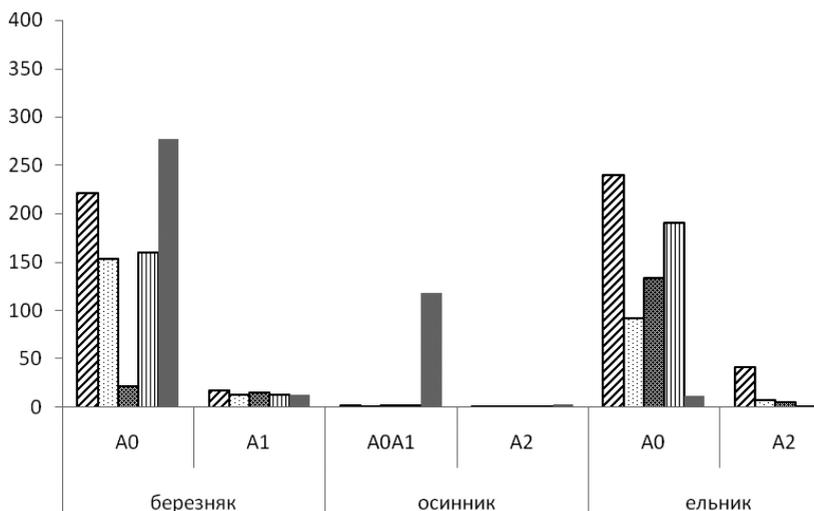


Рис. 9. Численность основных групп микроорганизмов в почве ПП 2, 3 (вариант 2) и ПП 4 (в млн. КОЕ/г а.с.п.).

ющие гумусовые вещества). Осенью активность ЭКТГМ в почвах березняка и ельника сохраняется, в осиннике – резко снижается. При этом в подстилке ельника активизируются аммонификаторы, падает численность педотрофов. Высокая численность ЭКТГМ в почве березняка свидетельствует о том, что процесс минерализации органического вещества (лиственно-травянистых остатков) происходил на протяжении всего вегетационного сезона.

В минеральных горизонтах почв лесных сообществ процессы жизнедеятельности микроорганизмов заторможены в связи с отсутствием свежих растительных остатков и низким содержанием органического вещества, т.е. с малым количеством энергетического вещества и элементов питания, что проявляется в невысокой численности групп ЭКТГМ.

В почвах ясно выражена сезонная динамика количества микроорганизмов. В органогенном слое наибольшая численность всех групп микроорганизмов была в летний период, в осенний – сильно уменьшалась.

В длительном опыте (весна 2003–осень 2004 гг.) по мере разложения отмирающей фитомассы в травянистом сообществе при уменьшении видового состава общая численность микромитозов увеличивается. Так, численность сахаролитиков, олигонитрофилов, целлюлозолитиков и нитрофилов в образцах, отобранных весной 2004 г., была выше, чем в весенних образцах 2003 г., а аммонификаторов – ниже. Снижение количества аммонификаторов и рост числа минерализаторов на среде КАА свидетельствует об активной минерализации растительных остатков к 17 месяцу после начала опыта в травянистом сообществе.

Среди физиологических групп при разложении фитомассы в травянистом сообществе как через девять, так и через 17 месяцев по численности преобладают олигонитрофилы. Наименьшее количество микроорганизмов наблюдалось в группе целлюлозолитиков.

Характеристика микробиологической активности в исследуемых объектах согласуется с данными, приведенными в гл. 2, по качественно-количественному составу растительной массы. Четко проявляется функциональная взаимосвязь микробиоты с биогенно-аккумулятивным слоем.

Характеристика пула микроорганизмов в почве ельника (ПП 4)

Подавляющее количество микромицетов в почве ельника чернично-зеленомошного также сосредоточено в органогенном горизонте (A0), резко убывая в минеральном слое – подзолистом горизонте (A2). Так, в июле 2010 г. количество микромицетов в органогенном слое составляло 74466 тыс. КОЕ/г а.с.п., в гор. A2 – только 214 тыс. КОЕ/ г а.с.п. В конце вегетации (8 октября 2010 г.) в органогенном слое количество микроскопических грибов существенно снизилось до 6944 тыс. КОЕ/ г а.с.п., тогда как в гор. A2 – увеличилось, составив 2534 тыс. КОЕ/г а.с.п. Отмеченное различие, по-видимому, определяется разными свойствами горизонтов. Моховая подстилка (при малом участии травянистых растений и преимущественно хвойном опаде осенью) характеризуется более резкими колебаниями температуры и изменением влажности. Увеличение осенних осадков, способствуя выносу из органогенного слоя органических веществ – продуктов трансформации растительных остатков за летний период, в гор. A2 активизирует жизнедеятельность микромицетов. Не исключен вынос с влагой микроорганизмов.

Из органогенного слоя почвы в летний период выделено 13 видов микромицетов, относящихся к отделу *Zygomycota* и формальному классу *Anamorphic fungi*. В летних пробах зигомицеты представлены были только видами *Mucor globosus*, *M. racemosus*. Подавляющее число видов относится к анаморфным грибам – 10 видов из трех родов (*Penicillium*, *Trichoderma*, *Paecilomyces*) (табл. 21).

В осенний период в гор. A0 при снижении общей численности микромицетов отмечено большее число видов из отдела *Zygomycota* и *Anamorphic fungi* – 10 и 14 видов соответственно. В отделе *Zygomycota* преобладают виды из родов *Mortierella*, *Mucor*, *Thamnidium*, *Sporodinia*, *Umbelopsis* (табл. 22). Среди анаморфных грибов выделены новые виды из родов *Geomyces*, *Cylindrocarpon*, *Rhinocladium*, *Penicillium*, *Trichoderma*, *Cylindrocarpon* *Rhinocladium* *Paecilomyces*, отсутствовавшие в летних пробах. Таким образом, хотя в летний период органогенный горизонт характеризуется большей численностью микромицетных пропагуд, по видовому разнообразию он беднее в сравнении с осенними пробами, что связано, очевидно, с поступлением свежего опада.

В гор. A2 было зарегистрировано 11 видов из формального класса *Anamorphic fungi*, шесть – из отдела *Zygomycota*. Исчезли в сравнении с гор. A0 представители родов *Trichoderma*,

кроме *T. fasciculatum*, *Mortierella*, появились три вида рода *Mucor*, один – рода *Chaetomium* – активный целлюлозолизатор *Ch. globosum*, а также из отдела *Zygomycota* – *Sporodinia grandisu*.

Таким образом, можно отметить общую закономерность – аккумуляцию пула микромицетов в слое подстилки, его активную трансформацию в летний период. Миграция микроорганизмов с атмосферными осадками обуславливает состав микроскопических грибов в верхнем минеральном слое.

Сравнение полученных результатов по вариантам 1 и 2 позволяет отметить различия, связанные с поэтапным развитием самовосстановительной сукцессии на стадии формирования и функционирования экосистемы мелколиственных древесных пород. Оба варианта позволяют с большей детальностью изучить преобразование компонентов травянистой экосистемы лугового типа при замещении ее на лесную через этап господства лиственных древесных пород (вариант 1).

Четко выявлена функциональная взаимосвязь биотического компонента экосистемы и осваиваемого ею субстрата. Эта общая закономерность показана и в варианте 2 при изменении качественно-количественного состава органического (растительного) вещества на этапе господства лиственных пород.

Важную роль также играют процессы водной миграции образующихся подвижных органических продуктов трансформации растительного материала на поверхности почвы.

Глава 4

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ КРОНОВЫХ, ПРИСТВОЛЬНЫХ И ЛИЗИМЕТРИЧЕСКИХ ВОД

Химический состав кроновых и приствольных вод

На постоянных пробных площадях изучали особенности трансформации атмосферных осадков под влиянием растительности, воздействия состава вод на формирование почв.

Разнообразные продукты, образующиеся в процессе жизнедеятельности растений и микроорганизмов, вымываются атмосферными осадками из кроны древесных пород и кустарников и включаются в биологический оборот веществ в экосистемах. Так, по данным Т.А. Пристовой (2008), в подзоне средней тайги в средневозрастном лиственно-хвойном насаждении с водами, проходящими через кроны деревьев (кроновыми водами), поступает 32% от потребляемого фитоценозом калия, 27 – магния, 12% – кальция.

Состав атмосферных осадков кроновых, приствольных вод активно изучали в лесной зоне (Мина, 1965; Родин, Базилевич, 1965; Куликова, 1968; Морозова, Куликова, 1974; Стрелкова, 1974; Снакин и др. 1997; Карпачевский и др., 1998; Никонов, Лукина, 2000; Пристова, 2000; Шильцова, Ласточкина, 2006; Пристова, Забоева, 2007; Арчегова, Кузнецова, 2011; Экологические принципы..., 2009 и др.). Установлено, что в лесных экосистемах состав кроновых вод зависит от типа леса, сезона года, метеоусловий (частоты и интенсивности осадков) и других факторов.

В настоящей книге анализируются данные, полученные в период с 2009 по 2013 г. Годы наблюдений различались по основным метеорологическим показателям (табл. 24, 25). Самым холодным вегетационным периодом характеризовался 2009 г., самыми теплыми – 2010 и 2013 гг. Максимальная температура в 2010 г. в июле достигала +32 °С, в первой половине августа – +34 °С, в 2013 г. – в июле – +32 °С, в августе – +28 °С. Наибольшее количество жидких осадков выпало в вегетационный сезон 2012 г., наименьшее – в 2010 и 2013 гг., особенно в июле.

Таблица 24

**Температура воздуха в годы наблюдений, °С
(данные по метеостанции «Сыктывкар»)**

Год	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2009	<u>-14.1</u> 1.5	<u>-10.9</u> 3.2	<u>-3.8</u> 3.9	<u>-0.8</u> -1.8	<u>8.8</u> 1.3	<u>14.5</u> 0.5	<u>16.2</u> -0.4	<u>13.9</u> -0.1	<u>11.6</u> 3.8	<u>1.5</u> 1.2	<u>-3.3</u> 2.7	<u>-16.2</u> -3
2010	<u>-18.6</u> -3.0	<u>-16.4</u> -2.3	<u>-6.3</u> 1.4	<u>4.6</u> 3.6	<u>13.1</u> 5.6	<u>14.0</u> 0	<u>20.3</u> 3.7	<u>15.8</u> 1.8	<u>8.0</u> 0.2	<u>2.2</u> 1.9	<u>-4.5</u> 1.5	<u>-17.2</u> -4
2011	<u>-13.4</u> 2	<u>-19.6</u> -6	<u>-4.7</u> 3.0	<u>2.9</u> 1.9	<u>10.8</u> 3.3	<u>15.9</u> 1.9	<u>20.2</u> 3.6	<u>12.9</u> -1.1	<u>9.2</u> 1.4	<u>3.7</u> 3.4	<u>-5.2</u> 0.8	<u>-5.5</u> 7.7
2012	<u>-12.3</u> 3	<u>-15.8</u> -2	<u>-7.9</u> -0.2	<u>4.3</u> 3.3	<u>10.8</u> 3.3	<u>15.8</u> 1.8	<u>17.5</u> 0.9	<u>14.4</u> 0.2	<u>9.4</u> 1.6	<u>3.0</u> 2.7	<u>-3.0</u> 3	<u>-16.5</u> -3.3
2013	<u>-15.9</u> -0.3	<u>-7.7</u> 6	<u>-14.4</u> -6.7	<u>2.2</u> 1.2	<u>8.9</u> 1.4	<u>17.4</u> 3.4	<u>19.4</u> 2.8	<u>16.2</u> 2.2	<u>8.6</u> 0.8	<u>1.3</u> 1	<u>0</u> 6	<u>-8.0</u> 5.2
Норма	-15.6	-13.7	-7.7	1.0	7.5	14.0	16.6	14.0	7.8	0.3	-6	-13.2

Примечание: над чертой – среднее значение, под чертой – отклонение от нормы (средние многолетние значения).

Таблица 25

**Количество осадков в годы наблюдений, мм
(данные по метеостанции «Сыктывкар»)**

Год	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2009	<u>44</u> 138	<u>37</u> 185	<u>31</u> 119	<u>24</u> 69	<u>44</u> 88	<u>127</u> 223	<u>80</u> 105	<u>62</u> 90	<u>77</u> 112	<u>86</u> 148	<u>57</u> 143	<u>51</u> 150
2010	<u>32</u> 100	<u>16</u> 80	<u>42</u> 162	<u>22</u> 63	<u>36</u> 72	<u>97</u> 170	<u>30</u> 39	<u>50</u> 72	<u>36</u> 52	<u>45</u> 78	<u>67</u> 168	<u>41</u> 120
2011	<u>40</u> 125	<u>13</u> 66	<u>24</u> 92	<u>62</u> 177	<u>47</u> 94	<u>33</u> 58	<u>61</u> 80	<u>36</u> 52	<u>84</u> 122	<u>67</u> 116	<u>65</u> 163	<u>46</u> 135
2012	<u>26</u> 82	<u>12</u> 60	<u>23</u> 88	<u>66</u> 189	<u>25</u> 50	<u>143</u> 251	<u>118</u> 155	<u>92</u> 133	<u>143</u> 207	<u>81</u> 140	<u>69</u> 173	<u>34</u> 100
2013	<u>45</u> 141	<u>20</u> 100	<u>39</u> 150	<u>15</u> 43	<u>44</u> 88	<u>35</u> 61	<u>32</u> 42	<u>40</u> 58	<u>50</u> 72	<u>85</u> 147	<u>75</u> 188	<u>56</u> 165
Норма	32	20	26	35	50	57	76	69	69	58	40	34

Примечание: над чертой – сумма осадков, мм; под чертой – в процентах к норме.

Состав кроновых и приствольных вод в экосистеме на техногенном наносе (вариант 1). Как было отмечено выше (см. гл. 2), на ПП 1 начавшееся замещение травянистой экосистемы древесными растениями сопровождалось сокращением ее площади. На сохранившихся участках высота трав составила 60–80 см. Анализировали состав атмосферных осадков, собранных на участке с доминированием трав и под кронами древесных растений (в парцеллах).

Атмосферные осадки, собранные на участке травянистого сообщества, имеют в основном близкую к нейтральной величину рН (табл. 26). По сравнению с весенним сроком можно, однако, отметить слабое подкисление летне-осенних вод, что согласуется с повышением содержания органического углерода ($C_{\text{орг.}}$), вымывающегося из травянистых растений.

Результаты анализа показывают ясное сезонное изменение состава атмосферных осадков в соответствии с вегетацией растений. Содержание в водах водорастворимого органического углерода, калия, кальция, магния возрастает к осени (табл. 26, рис. 10). Колебания по годам наблюдений обусловлены погодными условиями.

Нельзя не обратить внимание на довольно резкое увеличение в водах содержания хлора и особенно серы (сульфат-иона) в июле 2010 и 2013 гг., что связано, видимо, с загрязняющим влиянием крупного промышленного объекта ОАО «Монди Сыктывкарский ЛПК» (17 км к северо-западу от г. Сыктывкар). В районе Сыктывкара в летний период преобладают ветры северо-западного направления (Атлас..., 1997), что способствует загрязнению выбросами предприятия территорий, расположенных по «розе ветров». В связи с тем, что ПП 1 находится в 10–15 м от автодороги, источником загрязнения атмосферного воздуха являются также выбросы автомобильного транспорта, содержащие диоксид серы, сероводород, хлор. Зафиксированы высокие концентрации серы и хлора в осадках, собранных 30 июля 2013 г. Июль 2013 г. характеризовался высокими температурами атмосферного воздуха, низким количеством выпавших осадков, что и привело к росту концентрации загрязняющих веществ в воздушной среде и, соответственно, в атмосферных осадках. По-видимому, по той же причине произошло увеличение содержания хлора и серы в осадках летнего периода 2010 г., который также был жарким и засушливым.

В парцеллах древесных растений атмосферные осадки, проникающие под кроны сосны, березы и ивы (кроновые воды), отличались по химическому составу от вод, собранных на участке травянистого фитоценоза, повышенным содержанием, прежде всего, $C_{\text{орг.}}$, а также элементов-биогенов – калия, кальция, магния. Это связано с изменением состава и обилия растений, вымыванием этих веществ из листьев и хвои (табл. 26). При этом состав вод в парцеллах заметно преобразуется в зависимости от вида древесного растения. Так, кроновые воды сосны характеризуются большей концентрацией органического углерода и некоторых минеральных компонен-

Таблица 26

**Химический состав кроновых и приствольных вод на ПП 1
(средние значения), мг/л**

Дата отбора проб воды	pH	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	PO ₄ ³⁻	C _{орг.}	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Травянистое сообщество										
25.05.2009 г.	8.5	0.53	0.42	1.44	4.83	0.04	15.04	1.89	3.52	1.27
29.07.2009 г.	6.8	2.86	0.29	н/о	1.59	0.13	26.08	1.74	4.55	1.55
02.10.2009 г.	6.7	3.53	1.11	2.16	3.38	0.05	23.00	5.45	4.78	2.62
20.05.2010 г.	8.6	н/о	0.25	1.35	6.84	0.07	12.23	1.56	3.27	1.65
28.07.2010 г.	7.2	0.44	0.21	9.62	10.34	0.30	14.40	3.50	3.47	1.63
08.10.2010 г.	6.8	0.29	0.50	н/о	10.30	0.71	13.20	10.5	6.40	2.00
23.05.2011 г.	7.2	1.83	0.28	н/о	2.55	0.01	7.92	2.02	5.26	1.91
29.07.2011 г.	7.2	1.61	0.21	4.42	2.63	0.31	12.00	5.20	4.27	1.99
07.10.2011 г.	6.5	0.40	1.86	1.2	1.32	н/о	16.94	4.84	5.50	1.80
04.06.2012 г.	6.6	н/о	2.26	н/о	1.72	0.05	6.50	1.43	2.80	1.19
26.07.2012 г.	7.1	0.23	0.22	н/о	1.15	0.07	9.72	3.49	3.99	1.03
02.10.2012 г.	6.5	0.39	0.55	н/о	2.16	0.46	15.20	4.58	6.97	1.61
29.05.2013 г.	5.6	0.21	0.24	н/о	2.99	0.07	16.00	0.65	2.16	0.42
30.07.2013 г.	7.9	17.6	1.19	40.83	10.44	13.44	38.22	9.61	5.32	1.92
10.10.2013 г.	6.7	0.52	0.68	3.84	2.33	0.65	24.00	3.68	1.89	0.81
Под кроной березы (березовая парцелла)										
25.05.2009 г.	7.3	0.27	0.15	5.29	6.33	0.03	15.37	0.97	4.96	1.95
29.07.2009 г.	7.6	0.66	0.56	н/о	1.59	0.13	22.04	1.74	4.41	1.77
02.10.2009 г.	6.9	0.95	0.81	3.82	4.77	2.12	24.35	16.9	4.36	2.96
20.05.2010 г.	8.5	н/о	0.27	3.85	11.61	0.01	11.30	1.29	2.89	1.30
28.07.2010 г.	8.0	7.11	1.13	9.62	14.31	2.00	31.32	7.75	3.47	2.19
08.10.2010 г.	7.0	0.48	0.90	н/о	8.75	2.32	21.12	11.19	8.00	3.80
23.05.2011 г.	8.3	0.44	0.13	н/о	11.4	0.04	11.50	1.30	5.46	1.96
29.07.2011 г.	7.0	0.15	0.75	н/о	2.01	0.77	24.00	12.50	6.65	2.68
07.10.2011 г.	6.9	1.03	0.29	0.24	2.31	3.28	33.90	13.24	11.45	4.00
04.06.2012 г.	6.8	0.39	0.26	4.56	7.76	0.02	18.50	1.78	4.96	2.37
26.07.2012 г.	8.1	0.2	0.53	н/о	1.44	0.05	19.91	2.57	4.04	1.13
02.10.2012 г.	6.8	0.78	0.96	н/о	0.86	2.96	23.33	16.10	11.1	3.79
29.05.2013 г.	5.7	0.38	0.71	н/о	1.61	0.02	18.21	1.66	1.58	0.88
30.07.2013 г.	7.1	н/о	1.16	28.82	2.98	0.15	58.82	4.86	4.08	1.16
10.10.2013 г.	7.2	1.31	2.97	0.38	4.21	5.66	45.60	9.35	5.50	2.78
Приствольные воды березы (березовая парцелла)										
28.07.2010 г.	7.1	5.17	2.61	14.42	16.70	0.01	43.9	3.44	5.94	3.23
29.07.2011 г.	6.6	0.37	2.61	н/о	1.08	0.02	45.6	3.62	7.90	2.98
07.10.2011 г.	6.6	0.04	0.29	н/о	0.66	н/о	39.5	2.68	6.20	2.10
04.06.2012 г.	6.3	0.74	0.86	3.12	7.47	0.02	30.9	3.08	3.90	2.03
26.07.2012 г.	8.5	1.45	1.78	н/о	2.59	0.08	39.8	4.87	3.57	1.33
29.05.2013 г.	7.8	н/о	0.32	н/о	4.37	0.02	33.8	0.96	3.08	0.76
30.07.2013 г.	6.3	1.24	2.56	30.74	3.58	0.06	49.9	4.02	2.92	0.69
10.10.2013 г.	5.6	1.72	2.24	0.96	3.44	0.02	36.0	6.23	2.90	1.01
Под кроной сосны (сосновая парцелла)										
25.05.2009 г.	8.8	0.57	0.38	6.25	15.34	н/о	20.8	2.06	7.43	3.23
29.07.2009 г.	8.1	0.70	0.52	н/о	1.99	0.16	29.8	4.79	6.89	3.36

Окончание табл. 26

Дата отбора проб воды	pH	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	PO ₄ ³⁻	C _{орг.}	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
02.10.2009 г.	7.2	3.77	1.77	4.33	9.54	0.91	53.11	18.6	8.38	5.51
20.05.2010 г.	9.0	н/о	0.33	0.96	29.1	0.03	19.50	1.48	4.84	2.67
28.07.2010 г.	7.8	1.47	1.15	10.58	18.29	0.02	41.76	5.66	7.85	4.84
8.10.2010 г.	7.0	1.94	1.23	0.48	10.34	0.09	31.68	5.09	11.3	4.70
23.05.2011 г.	7.6	0.92	0.37	2.5	20.8	н/о	30.7	1.91	9.24	4.44
29.07.2011 г.	8.0	2.82	1.92	н/о	2.47	0.06	43.20	5.95	11.1	5.25
07.10.2011 г.	7.4	13.3	0.13	0.72	6.60	3.96	39.52	12.6	12.0	4.65
04.06.2012 г.	6.9	0.35	0.29	н/о	12.4	0.03	20.3	1.64	9.53	3.90
26.07.2012 г.	8.2	0.59	1.15	н/о	1.44	0.08	31.60	5.40	11.7	3.12
02.10.2012 г.	7.1	0.35	1.27	н/о	2.30	0.15	30.10	7.25	11.9	3.92
29.05.2013 г.	9.1	1.62	9.1	1.62	9.1	1.62	19.1	1.62	9.10	1.62
30.07.2013 г.	7.1	0.96	2.16	16.81	7.75	0.24	38.22	5.20	8.42	1.83
10.10.2013 г.	7.3	2.2	2.53	н/о	11.3	0.62	48.2	13.6	10.8	3.90
Приствольные воды сосны (сосновая парцелла)										
02.10.2009 г.	6.1	4.47	3.11	4.33	7.55	0.01	71.8	3.90	17.4	3.63
28.07.2010 г.	7.0	9.42	3.70	36.54	20.68	0.01	69.2	4.07	7.65	4.58
23.05.2011 г.	6.4	6.71	1.89	н/о	28.2	0.01	52.5	3.70	9.10	5.38
04.06.2012 г.	6.3	6.16	1.39	0.96	19.8	0.03	41.7	3.31	6.71	4.71
26.07.2012 г.	6.3	6.81	5.34	н/о	3.74	0.20	82.6	4.34	7.16	3.13
29.05.2013 г.	5.6	9.67	6.43	н/о	24.8	0.04	73.9	4.85	2.81	1.06
30.07.2013 г.	6.7	5.95	7.07	31.22	10.14	0.43	85.26	5.44	5.76	2.25
10.10.2013 г.	6.9	8.43	11.09	7.68	14.9	0.37	98.4	9.66	15.5	5.35
Под кроной ивы										
25.05.2009 г.	7.2	0.44	0.18	3.36	4.03	0.01	10.7	0.84	4.24	1.32
29.07.2009 г.	8.4	0.48	0.54	1.2	2.39	1.94	23.53	20.5	6.31	2.79
02.10.2009 г.	7.3	1.21	1.15	6.73	4.97	3.26	28.71	38.1	10.9	5.35
20.05.2010 г.	8.5	н/о	0.42	3.08	24.3	2.3	13.9	1.40	5.22	2.42
28.07.2010 г.	8.3	1.69	0.52	9.62	5.57	н/о	17.0	9.65	6.33	3.29
08.10.2010 г.	7.3	0.51	0.84	н/о	7.16	2.06	23.76	20.8	13.10	4.60
23.05.2011 г.	8.1	0.29	0.17	н/о	7.25	н/о	15.8	2.03	5.66	2.11
29.07.2011 г.	8.2	0.66	1.21	1.54	1.85	0.92	38.4	18.3	10.3	3.34
07.10.2011 г.	7.6	н/о	0.27	1.44	1.82	2.78	31.1	21.9	15.2	4.45
04.06.2012 г.	6.3	3.09	1.95	н/о	6.61	0.79	17.0	7.76	6.24	2.58
26.07.2012 г.	7.6	0.67	0.72	0.72	0.86	2.49	37.7	20.5	5.16	1.81
02.10.2012 г.	7.3	0.35	2.31	н/о	1.44	1.28	41.0	12.4	11.1	3.42
29.05.2013 г.	6.8	0.62	0.27	н/о	12.65	0.03	15.5	1.66	4.98	0.83
30.07.2013 г.	7.4	н/о	1.01	28.34	4.47	1.67	23.52	13.13	4.76	1.36
10.10.2013 г.	7.5	1.48	2.63	6.15	4.88	7.04	48.0	28.8	4.08	1.82
Приствольные воды ивы										
28.07.2010 г.	8.1	2.79	2.19	9.62	18.29	0.81	37.85	17.74	4.50	1.65
23.05.2011 г.	7.9	1.06	1.10	0.58	13.33	2.80	28.1	19.3	4.05	2.21
29.07.2011 г.	7.0	3.96	3.99	н/о	1.70	3.47	48.0	18.90	4.23	2.73
26.07.2012 г.	7.3	2.35	3.12	н/о	2.01	6.53	51.0	51.2	8.45	1.69
29.05.2013 г.	6.8	1.31	1.52	0.77	4.25	3.94	25.1	11.6	5.29	1.53
30.07.2013 г.	7.1	1.58	8.65	18.25	11.63	9.18	58.8	24.5	6.95	2.45

Примечание: н/о – не обнаружено.

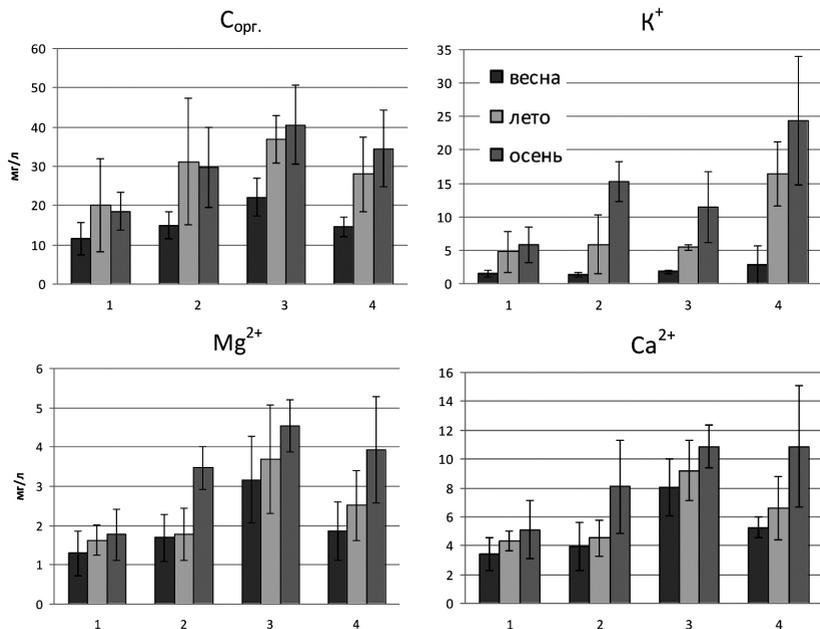


Рис. 10. Сезонное изменение содержания C_{орг.} и элементов-биогенов в атмосферных осадках на ПП 1 (средние значения за период 2009–2013 гг.). 1 – травянистое сообщество; 2 – под кроной березы; 3 – под кроной сосны; 4 – под кроной ивы.

тов (кальция) (рис. 11), чем кроновые воды лиственных пород. Различие связано с разным по времени развитием кроны хвойных и лиственных деревьев, формированием облиственности у последних в летний период и увеличением органических и минеральных компонентов в осенних водах. Самое большое количество калия обнаружено в водах, собранных под кроной ивы в летний и осенний периоды (табл. 26), что обусловлено высоким содержанием калия в листьях ивы (Морозова, 1991).

Следует отметить, что по сравнению с 2006 г. (Экологические принципы..., 2009) в последующие годы отмечена тенденция к увеличению содержания в кроновых водах большинства определяемых элементов в период вегетации. Это связано с развитием крон древесных растений в процессе их роста. Так, в 2006 г. в березовой парцелле в кроновых водах березы, собранных за период вегетации (с начала июня по конец сентября), суммарное содержание C_{орг.} составляло 27 мг/л, калия – 10, кальция – 7, а в 2012 г. (близкого по погодным условиям 2006 г.) – 43, 19, 15 мг/л соответственно.

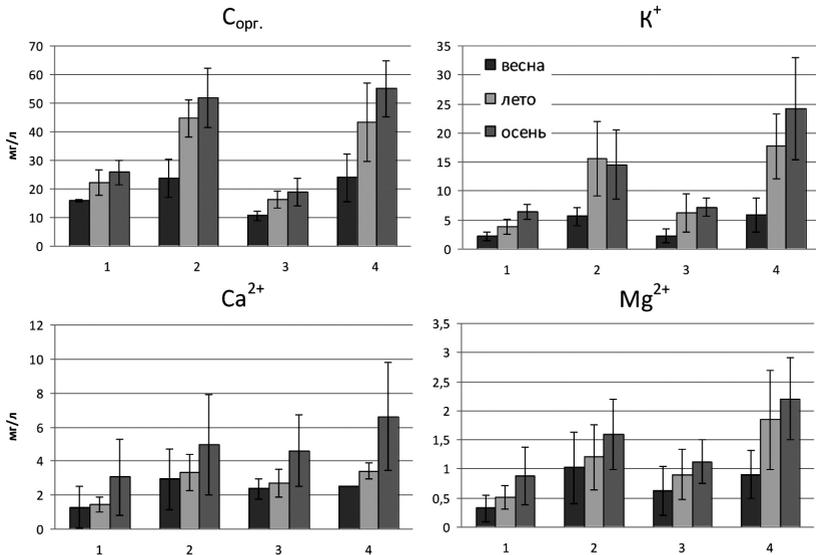


Рис. 11. Сезонное изменение содержания $C_{\text{орг}}$ и элементов-биогенов в кроновых водах на ПП 2 и ПП 3 (средние значения за период 2009–2013 гг.). 1 – под кроной березы (березняк); 2 – под кроной ели >80 лет (березняк); 3 – под кроной осины (осинник); 4 – под кроной ели >80 лет (осинник).

В кроновых водах древесных пород в целом наблюдается сезонное увеличение содержания элементов биогенного происхождения, что было отмечено и в 2006–2008 гг. (Экологические принципы..., 2009). От весны к осени в основном возрастала концентрация органического углерода, кальция, магния, калия, азота (аммонийной и нитратной форм), фосфат-иона (табл. 26, рис. 10), что связано с фазой развития растений в течение вегетационного периода.

Приствольные воды древесных растений (табл. 26) характеризуются высокими концентрациями всех определяемых элементов, что связано с их большим содержанием в коре по сравнению с листьями и хвоей. Количество $C_{\text{орг}}$, Ca^{2+} и Mg^{2+} в приствольных водах сосны значительно выше по сравнению с березой и ивой. Известно, что для коры сосны характерно высокое содержание химических элементов, особенно кальция (Морозова, 1991).

Повышенное содержание хлора и серы (сульфат-иона) в кроновых и приствольных водах в группах древесных растений, отмеченное 30 июля 2013 г., связано с выбросами ОАО «Монди Сыктывкарский ЛПК».

Таким образом, на стадии замещения травянистого сообщества древесными растениями определенная роль в преобразовании почвы принадлежит воздействию веществ, поступающих с кроновыми и приствольными водами. Причем это воздействие имеет приуроченность к группам древесных растений, т.е. отражает их биотопическую роль и парцеллярную структуру растительного сообщества (пестроту почвенно-растительного покрова) формирующейся лесной экосистемы. Поступающие с кроновыми водами вещества мигрируют в лесную подстилку, участвуя в почвообразовательном процессе.

Состав кроновых и приствольных вод в березняке и осиннике (вариант 2). На ПП 2 и 3 атмосферные осадки, собранные под кронами березы и осины, существенно не различались по концентрации органических и минеральных элементов, имели в основном слабокислую и близкую к нейтральной реакцию (табл. 27). Величина рН изменялась в пределах 5.6–7.2. По сезонам года значительных изменений данного показателя не отмечено.

В сформировавшихся мелколиственных сообществах влияние древесных пород на состав атмосферных осадков проявляется более заметно, чем на ПП 1.

Так же, как и на ПП 1, в березняке и осиннике хорошо выражена динамика содержания органического углерода, калия, кальция, магния – к концу вегетационного периода их содержание увеличивалось в кроновых водах под всеми древесными породами (рис. 11).

Приствольные воды березы и осины (табл. 27) характеризуются высокими концентрациями всех определяемых элементов. Приствольные воды березы были кислыми (рН 4.0) по сравнению с осинной (рН 7.0), что хорошо согласуется с повышенным содержанием кальция в приствольных водах осины.

Следует отметить заметное отличие состава кроновых и приствольных вод у одиночных экземпляров ели, оставшихся после рубки. Так, атмосферные осадки, прошедшие через крону ели, характеризовались более высокой концентрацией органического углерода и кальция по сравнению с листовыми деревьями – осинной и березой (рис. 11). Это, по-видимому, связано с разным типом крон этих растений. Наибольшее количество указанных элементов содержится в приствольных водах ели, особенно 120-летнего возраста (табл. 27), что обусловлено особенностями строения коры ели, для которой характерны чешучайность, трещиноватость в отличие от более гладкоствольных осины и березы.

Таблица 27

**Химический состав кроновых и приствольных вод на ПП 2 и 3
(вариант 2) (средние значения), мг/л**

Дата отбора проб воды	pH	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	PO ₄ ³⁻	C _{орг.}	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Под кронами березы (березняк)										
25.05.2009 г.	6.9	0.93	0.50	2.28	1.62	0.10	15.57	2.37	1.31	0.72
29.07.2009 г.	6.0	0.81	0.61	1.44	1.59	0.35	19.10	2.52	1.50	0.49
02.10.2009 г.	6.4	1.80	1.61	н/о	4.57	1.71	27.30	7.20	1.28	0.57
20.05.2010 г.	6.9	0.07	0.38	2.69	1.27	0.01	15.76	2.40	1.48	0.27
28.07.2010 г.	6.4	2.11	1.56	12.82	8.48	0.11	30.02	5.18	1.94	0.54
8.10.2010 г.	5.9	0.88	1.44	н/о	7.96	0.73	27.08	6.85	2.00	0.55
23.05.2011 г.	6.1	1.1	0.63	1.15	1.96	0.07	15.6	3.24	1.04	0.17
29.07.2011 г.	6.0	2.31	1.13	0.77	1.24	0.18	21.6	3.79	1.82	0.80
07.10.2011 г.	6.1	0.37	0.29	0.48	0.66	0.61	21.3	5.28	5.25	1.20
04.06.2012 г.	5.7	0.86	0.38	3.84	2.01	0.01	16.0	2.19	0.96	0.16
26.07.2012 г.	5.6	1.06	0.72	0.48	1.44	0.22	19.4	2.85	1.00	0.24
02.10.2012 г.	6.2	1.76	1.56	1.44	2.01	1.10	31.5	4.84	5.67	1.58
29.05.2013 г.	5.7	0.31	0.75	н/о	1.15	0.04	16.6	1.17	1.60	0.30
30.07.2013 г.	6.4	2.03	1.65	16.81	2.39	1.18	20.58	5.02	0.98	0.45
10.10.2013 г.	6.5	0.96	2.90	н/о	2.66	0.82	21.60	7.84	1.06	0.48
Приствольные воды березы (березняк)										
25.05.2009 г.	4.1	2.05	2.24	2.64	5.18	0.14	51.50	7.64	1.69	0.72
29.07.2009 г.	4.1	7.99	4.41	0.24	4.57	0.12	77.45	7.79	2.43	0.63
02.10.2009 г.	4.1	5.20	3.3	н/о	2.98	0.17	61.70	4.75	1.95	0.48
20.05.2010 г.	4.3	3.33	0.82	1.92	5.09	0.01	29.40	4.18	2.05	0.73
23.05.2011 г.	4.0	5.5	2.06	н/о	4.7	0.01	40.6	6.90	2.51	0.88
07.10.2011 г.	3.9	5.57	2.65	н/о	2.31	0.22	79.04	5.48	6.40	1.10
26.07.2012 г.	4.1	4.35	4.45	н/о	1.72	0.35	64.40	8.10	1.97	0.50
10.10.2013 г.	4.2	8.26	9.80	н/о	3.33	0.46	76.80	7.79	2.65	0.96
Ель >120 лет, кроновые воды (березняк)										
25.05.2009 г.	6.5	1.5	1.69	3.12	3.64	1.02	31.15	9.92	3.24	1.66
29.07.2009 г.	6.3	7.18	4.35	1.2	7.95	1.67	58.1	12.9	3.13	1.25
02.10.2009 г.	6.6	2.93	4.26	0.96	4.00	4.62	58.85	19.2	2.02	1.66
20.05.2010 г.	7.1	2.27	1.15	6.34	7.63	0.1	25.9	6.65	2.36	0.70
28.07.2010 г.	6.7	9.71	3.82	16.35	35.1	4.64	78.3	27.9	2.98	1.90
8.10.2010 г.	6.8	8.06	4.53	н/о	7.16	4.11	68.64	29.23	3.25	2.30
23.05.2011 г.	5.9	6.52	2.64	2.88	6.47	2.25	46.5	14.4	3.44	1.91
29.07.2011 г.	7.0	4.75	2.61	2.50	3.09	3.19	67.2	31.1	2.46	2.94
07.10.2011 г.	6.4	5.72	7.12	0.72	2.97	3.64	64.93	23.9	9.85	2.95
04.06.2012 г.	6.0	1.37	1.51	5.28	2.87	0.85	47.15	8.92	2.79	1.55
26.07.2012 г.	6.3	8.77	6.42	8.64	3.16	2.45	74.8	27.7	4.03	1.56
02.10.2012 г.	6.0	6.19	4.42	1.2	2.3	3.58	54.2	22.6	4.58	1.87
29.05.2013 г.	6.2	4.09	2.05	1.34	3.56	0.13	29.0	6.16	3.11	0.81
31.07.2013 г.	6.4	2.72	5.33	21.61	5.67	2.45	55.86	18.4	3.41	1.12
10.10.2013 г.	6.9	9.23	7.73	н/о	2.88	6.12	76.80	31.7	4.11	2.13

Продолжение табл. 27

Дата отбора проб воды	pH	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	PO ₄ ³⁻	C _{орг.}	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Ель >80 лет, кроновые воды (березняк)										
25.05.2009 г.	6.5	0.73	1.84	0.96	3.45	0.43	33.3	7.26	4.88	1.95
29.07.2009 г.	6.6	1.91	2.28	1.68	3.98	0.2	42.0	9.91	2.87	0.84
02.10.2009 г.	6.5	6.96	5.45	н/о	2.19	12.85	54.65	22.4	2.88	2.20
20.05.2010 г.	7.1	0.77	0.77	1.35	3.34	0.37	16.5	4.38	1.63	0.31
28.07.2010 г.	6.6	16.20	3.55	23.08	22.27	6.04	41.1	26.3	2.59	1.90
8.10.2010 г.	6.6	6.49	3.36	н/о	6.36	2.64	58.08	14.50	5.20	1.45
23.05.2011 г.	6.2	1.5	1.02	н/о	3.92	0.74	24.6	7.04	3.14	1.09
29.07.2011 г.	6.5	4.75	2.61	н/о	3.56	0.49	55.20	12.2	5.15	1.70
07.10.2011 г.	6.7	5.42	3.82	н/о	3.30	3.45	62.1	17.4	9.80	2.25
04.06.2012 г.	6.0	0.78	1.37	н/о	3.45	0.81	26.0	5.61	2.35	1.11
26.07.2012 г.	6.3	9.12	2.98	2.40	2.88	3.36	46.7	16.5	3.41	0.97
02.10.2012 г.	6.4	1.57	2.16	1.44	2.30	1.43	35.6	6.44	4.48	1.13
29.05.2013 г.	5.5	1.17	1.17	0.38	3.1	0.13	18.4	3.88	2.70	0.64
31.07.2013 г.	6.4	1.31	3.72	36.02	5.37	1.94	38.22	13.2	2.58	0.61
10.10.2013 г.	6.8	4.95	4.39	н/о	2.44	1.03	48.0	11.8	2.35	0.94
«Окно» (березняк)										
25.05.2009 г.	6.3	0.51	0.25	1.68	1.15	0.03	8.60	1.62	1.12	0.41
29.07.2009 г.	6.5	0.31	0.86	4.57	2.58	0.07	22.34	2.06	1.14	0.31
02.10.2009 г.	6.4	1.65	0.92	3.37	5.77	1.16	8.61	9.2	1.24	0.43
20.05.2010 г.	6.5	0.11	0.38	0.96	1.59	0.02	16.50	1.72	1.59	0.29
28.07.2010 г.	6.4	0.73	0.61	11.54	3.98	0.04	22.20	2.69	1.29	0.38
08.10.2010 г.	6.2	1.25	1.13	н/о	1.59	0.90	26.40	7.82	1.45	0.60
23.05.2011 г.	5.9	0.7	0.52	н/о	1.18	0.03	11.7	2.05	1.17	0.26
29.07.2011 г.	6.0	0.33	0.96	н/о	0.46	0.04	16.8	2.86	1.35	0.66
07.10.2011 г.	6.0	н/о	0.9	0.24	0.66	0.32	8.47	3.32	4.20	0.85
04.06.2012 г.	6.2	0.35	0.19	2.88	1.72	0.03	16.0	0.56	1.67	0.50
26.07.2012 г.	5.5	0.47	0.50	н/о	0.86	0.06	14.6	1.46	0.69	0.14
02.10.2012 г.	6.2	1.21	0.91	2.40	0.87	0.63	24.6	4.76	3.99	0.85
29.05.2013 г.	5.6	0.52	0.71	н/о	1.15	0.07	19.3	1.04	1.47	0.25
31.07.2013 г.	6.5	0.71	1.01	12.01	2.09	0.61	26.46	3.58	1.34	0.38
10.10.2013 г.	6.3	0.86	2.80	н/о	4.77	0.82	24.0	7.22	8.02	2.26
Под кронами осины (осинник)										
25.05.2009 г.	7.0	0.93	0.53	1.2	1.92	0.2	11.80	4.09	5.52	1.32
29.07.2009 г.	6.7	0.29	0.67	1.68	2.78	0.18	17.90	2.84	3.22	1.08
02.10.2009 г.	6.3	0.81	0.86	3.37	5.77	1.16	18.61	9.20	2.71	1.23
20.05.2010 г.	7.2	0.11	0.38	2.69	1.11	0.02	11.80	1.65	2.13	0.61
28.07.2010 г.	6.9	0.87	0.54	12.5	2.39	0.16	15.70	10.93	3.63	1.51
08.10.2010 г.	6.5	0.99	0.92	н/о	4.37	0.31	21.12	8.25	3.60	0.75
23.05.2011 г.	6.4	0.62	0.48	н/о	0.98	0.07	11.9	2.34	1.65	0.37
29.07.2011 г.	6.9	0.22	1.38	0.19	1.08	0.39	14.4	6.70	2.88	0.92
07.10.2011 г.	6.5	н/о	1.21	2.16	2.64	0.67	11.3	6.96	6.60	1.65
04.06.2012 г.	6.3	0.35	0.17	4.80	0.86	0.06	9.20	2.10	1.36	0.56
26.07.2012 г.	6.3	0.51	0.65	0.96	0.86	0.02	13.4	3.46	1.81	0.39
02.10.2012 г.	6.3	1.21	1.27	н/о	1.44	0.48	19.7	5.39	7.17	1.24

Окончание табл. 27

Дата отбора проб воды	pH	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	PO ₄ ³⁻	C _{орг.}	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
29.05.2013 г.	5.9	0.1	0.36	1.15	0.69	0.10	8.16	0.93	1.25	0.22
31.07.2013 г.	6.9	4.09	0.97	н/о	1.79	1.38	20.58	7.06	1.96	0.61
10.10.2013 г.	6.5	1.72	1.61	н/о	4.44	0.06	24.00	6.01	2.95	0.76
Приствольные воды осины (осинник)										
25.05.2009 г.	7.5	5.64	2.09	1.92	1.70	4.9	35.9	16.5	20.2	2.35
29.07.2009 г.	7.4	3.76	2.8	2.16	1.20	0.22	53.0	12.14	20.9	3.16
02.10.2009 г.	6.8	5.72	1.42	3.85	10.73	1.91	63.15	11.75	11.3	4.56
20.05.2010 г.	6.5	2.49	1.34	н/о	5.17	1.80	27.75	9.70	17.0	0.42
23.05.2011 г.	7.2	3.33	2.38	н/о	3.27	0.04	49.0	11.7	17.7	3.95
07.10.2011 г.	6.9	4.54	3.66	н/о	2.64	0.04	68.8	19.7	25.0	4.95
02.10.2012 г.	7.0	2.04	2.81	н/о	2.01	0.10	36.9	10.0	13.6	1.84
29.05.2013 г.	7.8	2.41	1.73	н/о	1.95	0.10	28.6	8.43	9.00	1.53
Ель >80 лет, кроновые воды (осинник)										
25.05.2009 г.	6.8	2.89	1.44	0.72	4.41	1.1	27.90	9.25	3.38	1.51
29.07.2009 г.	6.5	1.39	1.69	0.72	3.58	1.03	34.85	10.1	4.09	1.77
02.10.2009 г.	6.2	4.1	8.25	1.44	21.5	7.78	58.80	38.0	3.45	1.91
20.05.2010 г.	6.4	0.48	0.57	3.65	2.07	0.07	12.90	3.1	1.69	0.44
28.07.2010 г.	6.9	6.16	3.59	9.62	23.18	7.17	50.09	24.05	2.77	2.90
8.10.2010 г.	6.5	5.50	5.08	н/о	14.31	3.66	55.44	20.25	4.55	2.10
23.05.2011 г.	5.8	2.71	1.64	н/о	4.31	0.94	31.50	8.35	2.4	0.97
29.07.2011 г.	6.8	5.75	3.42	н/о	0.31	3.44	43.20	22.4	3.63	2.50
07.10.2011 г.	6.7	5.57	2.82	н/о	9.58	5.24	60.34	26.2	11.65	3.45
04.06.2012 г.	6.2	0.59	0.79	0.96	2.01	0.26	30.40	5.31	2.52	0.98
26.07.2012 г.	6.4	2.10	3.65	0.48	2.59	2.7	26.50	15.7	3.33	0.97
02.10.2012 г.	6.4	2.23	3.32	н/о	3.45	3.05	38.30	14.6	7.46	1.69
29.05.2013 г.	5.4	0.65	0.9	н/о	2.3	0.64	17.20	3.01	2.49	0.60
31.07.2013 г.	6.9	6.81	4.60	н/о	2.68	3.89	61.74	16.20	3.24	1.09
10.10.2013 г.	6.9	5.9	6.26	0.19	9.2	3.24	62.40	21.5	6.02	1.89
«Окно» (осинник)										
25.05.2009 г.	6.7	0.46	0.23	3.61	0.96	0.06	9.7	0.93	2.28	0.62
29.07.2009 г.	6.5	0.68	0.25	2.88	1.0	0.32	10.43	1.54	2.17	0.42
02.10.2009 г.	6.7	0.55	1.21	2.40	2.54	2.49	14.35	16.4	2.25	1.83
20.05.2010 г.	6.7	0.18	0.17	3.85	1.11	0.04	11.3	1.39	1.73	0.38
28.07.2010 г.	5.0	0.81	0.58	13.08	3.18	0.15	19.6	8.76	1.93	0.59
8.10.2010 г.	6.5	0.40	0.77	н/о	3.97	0.52	18.48	4.92	2.35	0.30
23.05.2011 г.	6.2	0.59	0.32	н/о	0.78	0.1	8.91	1.36	1.43	0.26
29.07.2011 г.	6.1	0.15	1.25	0.42	0.46	0.41	4.80	2.34	1.90	0.53
07.10.2011 г.	6.4	0.04	1.36	н/о	1.32	0.10	11.3	2.24	5.5	1.15
04.06.2012 г.	6.0	0.27	0.26	6.72	1.72	0.10	13.3	2.20	1.69	0.63
26.07.2012 г.	6.7	0.63	0.60	0.72	1.44	0.18	12.2	3.14	1.31	0.27
02.10.2012 г.	6.4	0.43	0.36	н/о	0.72	0.04	7.66	2.06	4.58	0.33
29.05.2013 г.	5.4	0.07	0.32	н/о	0.69	0.03	9.3	0.49	1.04	0.21
31.07.2013 г.	7.1	4.54	0.34	н/о	2.98	1.18	17.64	0.14	1.58	0.40
10.10.2013 г.	6.4	0.93	1.46	н/о	4.66	0.04	16.80	6.01	2.37	0.81

Примечание: здесь и в табл. 28-30: н/о – не обнаружено, не опр. – не определяли.

В осадках, попадающих на почвенно-растительный покров в межкроновых пространствах («окнах»), закономерно ниже содержание $C_{\text{орг}}$ и элементов-биогенов, чем под кронами деревьев, что влияет на пространственную неоднородность почвенного покрова.

Выше было отмечено, что в осадках, собранных 30 июля 2013 г., зафиксированы высокие концентрации серы и хлора на площадке 1. В березняке их содержание в кроновых водах несколько ниже, а в осиннике ион SO_4^{2-} не обнаружен, что, по-видимому, связано с отсутствием загрязнения данного участка.

Таким образом, на всех рассматриваемых ПП были зафиксированы сходные закономерности влияния древесных пород на состав атмосферных осадков как в парцеллах на начальном этапе замещения травянистой экосистемы на лесную (ПП 1), так и в спелых мелколиственных древесных сообществах после выборочной рубки. Кроновые воды, собранные на ПП 1, характеризуются меньшей концентрацией большинства определяемых ионов по сравнению с лесными зрелыми экосистемами (ПП 2 и 3), что обусловлено еще слабым развитием крон древесных растений на ПП 1, обусловленным их молодостью. Сезонная динамика элементов-биогенов связана с этапами вегетации растительных сообществ.

Состав атмосферных осадков, преобразующихся растительностью, отражая парцеллярный характер структуры формирующегося в процессе самовосстановительной сукцессии растительного сообщества лесной экосистемы, определяет характерную пространственную неоднородность почвенного покрова еще на стадии замещения древесными растениями травянистого сообщества.

Вымываемые из древесного полога минеральные и органические компоненты, мигрируя в органогенный слой почвы, включаются в биологические процессы. Состав лизиметрических вод формируется этими процессами в большей (подавляющей) мере. При этом тип экосистемы, состав растительных остатков, количественно-качественный состав микробного пула определяют результативность процессов трансформации растительной массы, аккумуляции новообразованных веществ, а также миграционные процессы в условиях промывного водного режима.

Химический состав лизиметрических вод

Состав лизиметрических вод в лесной зоне исследован достаточно хорошо (Шилова, Коровкина, 1961, 1962; Пономарева, Рожнова и др., 1971; Шилова, Стрелкова, 1974; Продуктивность..., 1976; Пристова, 2005; Пристова, Забоева, 2007; Караванова, Белянкина, 2007 и др.). Известно, что в почвах лесов формирование химического состава лизиметрических вод определяется в основном количеством и составом деревьев, кустарников, растений травяно-кустарничкового яруса и напочвенного покрова, скоростью разложения отмирающих растительных остатков. Изучение состава мигрирующих водорастворимых веществ позволяет оценить функциональную связь в системе «растение–почва».

В подзоне средней тайги Республики Коми состав лизиметрических вод в еловых лесах ранее исследован Л.Н. Фроловой (1968) и И.Б. Арчеговой (Продуктивность..., 1976), в последние годы – Т.А. Пристовой (2005, 2007) в листовенно-хвойном насаждении после выборочной рубки. Было выявлено, что состав кроновых вод, поступающих в почву, преобразуется, главным образом, в верхнем слое (до глубины 20–30 см), где проявляется наибольшая биологическая активность, аккумулируются элементы-биогены. Поэтому лизиметры на наших постоянных ПП были установлены под органогенный и верхний минеральный горизонты почвы.

Состав лизиметрических вод в экосистеме на техногенном наносе (вариант 1). На ПП 1 выявлено, что в весенний период из органогенного слоя почвы в минеральную толщу поступают воды, имеющие слабокислую или близкую к нейтральной реакцию (табл. 28). Значения рН изменяются в основном в пределах 5.9–7.1. Можно отметить небольшое подкисление вод, собранных осенью, что согласуется в основном с увеличением количества водорастворимых органических веществ. По данным химического анализа за период с 2011 по 2013 г. (когда лизиметры были заложены и под минеральный слой), профильная дифференциация кислотных свойств лизиметрических вод была выражена слабо, но в целом можно отметить уменьшение величины рН в водах из верхнего минерального слоя по сравнению с органогенным горизонтом.

В лизиметрических водах, собранных в парцеллах древесных растений под верхним минеральным слоем, отмечено снижение концентрации водорастворимого органического углерода по сравнению с водами из органогенного горизонта (табл. 28). В почве под травянистым фитоценозом, напро-

Таблица 28

**Химический состав лизиметрических вод в экосистеме на ПП 1
(вариант 1) (средние значения), мг/л**

Дата, горизонт, глубина отбора проб воды	pH	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	PO ₄ ³⁻	C _{орг.}	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Травянистое сообщество										
25.05.2009 г. под АдА1	6.3	0.76	0.34	1.91	4.22	0.03	13.05	1.43	3.10	1.31
02.10.2009 г. под АдА1	5.9	0.66	1.02	1.20	2.04	0.05	25.00	1.37	3.74	2.75
20.05.2010 г. под АдА1	6.3	0.91	0.37	н/о	2.71	0.08	12.82	1.38	2.11	1.63
08.10.2010 г. под АдА1	5.9	1.22	1.15	н/о	2.78	0.25	21.28	1.67	2.37	1.20
23.05.2011 г. под АдА1	6.9	1.21	0.32	н/о	10.0	0.35	15.8	3.40	2.09	2.12
23.05.2011 г. на глубине 8–10 см	6.0	0.99	0.48	н/о	2.35	0.30	20.6	3.05	1.52	1.10
07.10.2011 г. под АдА1	6.3	0.07	2.05	1.68	5.94	1.78	16.22	8.52	4.90	3.05
07.10.2011 г. на глубине 8–10 см	6.1	н/о	н/о	2.40	4.46	0.58	21.34	3.52	4.25	2.40
04.06.2012 г. под АдА1	5.9	н/о	1.23	н/о	2.87	0.48	14.31	1.91	2.46	1.52
04.06.2012 г. на глубине 8–10 см	5.7	4.9	1.01	н/о	4.31	0.47	24.6	1.65	2.04	1.75
02.10.2012 г. под АдА1	5.9	1.33	0.79	1.44	2.16	0.43	19.1	2.08	5.48	1.44
02.10.2012 г. на глубине 8–10 см	5.4	1.17	1.1	2.40	2.16	0.03	15.9	0.96	5.08	1.80
29.05.2013 г. под АдА1	6.5	3.78	0.88	н/о	6.21	0.61	8.67	2.90	5.12	1.72
29.05.2013 г. на глубине 8–10 см	6.4	3.89	0.56	н/о	3.33	0.15	18.7	2.61	6.53	2.62
10.10.2013 г. под АдА1	5.6	0.52	4.83	н/о	4.21	3.52	28.8	6.49	5.14	2.20
10.10.2013 г. на глубине 8–10 см	5.7	1.38	7.02	1.15	3.77	1.84	28.0	7.06	6.41	2.39
Березовая парцелла										
25.05.2009 г. под АдА1	6.9	1.21	1.22	2.88	6.90	0.14	20.04	2.64	2.25	1.66
02.10.2009 г. под АдА1	5.7	1.50	1.13	2.86	3.08	0.11	41.60	2.40	2.19	1.06
20.05.2010 г. под АдА1	6.3	0.29	1.30	н/о	7.31	0.32	12.00	2.85	2.21	1.25
08.10.2010 г. под АдА1	5.2	2.90	11.3	н/о	7.95	0.87	22.80	5.67	3.45	1.60
23.05.2011 г. А0А под АдА1	6.7	0.95	1.47	н/о	5.22	0.18	19.82	4.33	1.82	1.29
23.05.2011 г. на глубине 8–10 см	5.3	1.1	1.44	н/о	12.9	0.15	15.80	2.23	1.63	1.46
07.10.2011 г. под АдА1	6.5	н/о	0.08	1.44	6.27	0.76	36.46	9.08	6.80	3.05
07.10.2011 г. на глубине 8–10 см	5.9	0.33	4.07	0.24	6.93	0.36	32.11	5.12	3.45	2.30
04.06.2012 г. под АдА1	6.4	0.74	1.95	1.20	6.32	0.23	26.30	3.77	3.27	1.74
04.06.2012 г. на глубине 8–10 см	5.5	н/о	0.82	5.76	9.49	0.1	22.81	2.78	2.65	1.96
02.10.2012 г. под АдА1	6.5	9.32	2.86	3.12	4.03	0.70	30.02	5.64	5.28	1.82
02.10.2012 г. на глубине 8–10 см	5.8	4.11	2.55	2.16	3.45	0.16	24.63	2.26	4.58	1.28
29.05.2013 г. под АдА1	6.8	0.48	2.05	н/о	9.08	0.68	30.81	10.5	5.68	2.16
29.05.2013 г. на глубине 8–10 см	6.1	1.13	2.68	н/о	7.47	0.54	20.05	4.51	5.49	1.95
10.10.2013 г. под АдА1	6.7	3.58	3.40	н/о	28.8	7.61	33.62	8.25	6.85	4.90
10.10.2013 г. на глубине 8–10 см	6.2	0.83	1.75	н/о	10.6	0.55	24.01	4.54	4.71	1.72
Сосновая парцелла										
25.05.2009 г. под А0	6.1	0.71	0.97	2.64	8.34	0.02	17.33	1.74	2.68	1.78
02.10.2009 г. под А0	5.9	0.77	0.88	2.16	4.97	0.10	45.21	1.92	2.03	0.95
20.05.2010 г. под А0	6.0	н/о	0.33	1.15	9.70	0.25	11.05	2.59	2.39	1.31
08.10.2010 г. под А0	6.3	0.44	7.21	1.44	13.92	0.83	15.84	4.03	6.45	2.50
23.05.2011 г. под А0	6.5	1.65	0.77	н/о	58.80	0.64	11.90	7.49	14.4	6.02
23.05.2011 г. на глубине 8–10 см	6.3	0.7	0.27	н/о	41.20	0.05	8.12	1.74	7.2	3.92
07.10.2011 г. под А0	6.9	н/о	н/о	0.96	4.95	0.34	53.64	6.64	6.85	3.65
07.10.2011 г. на глубине 8–10 см	6.1	н/о	н/о	1.92	4.79	0.25	50.58	3.96	5.30	2.40

Окончание табл. 28

Дата, горизонт, глубина отбора проб воды	pH	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	PO ₄ ³⁻	C _{орг.}	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
04.06.2012 г. А0	6.5	0.47	0.60	2.40	4.30	1.10	25.50	10.1	13.8	8.64
04.06.2012 г. на глубине 8–10	6.1	н/о	0.41	2.64	8.62	0.09	20.10	3.04	7.19	3.38
02.10.2012 г. под А0	6.6	0.82	1.20	н/о	2.16	0.81	32.82	4.84	24.3	7.36
02.10.2012 г. на глубине 8–10 см	6.3	1.57	1.51	н/о	2.88	0.20	27.44	5.25	19.9	5.52
29.05.2013 г. под А0	6.8	н/о	2.22	н/о	27.9	0.74	18.20	5.90	18.7	6.40
29.05.2013 г. на глубине 8–10 см	6.6	0.27	1.36	н/о	2.40	0.33	11.41	2.55	5.87	1.97
10.10.2013 г. под А0	7.2	2.2	4.75	н/о	11.50	0.81	45.63	8.70	19.0	5.97
10.10.2013 г. на глубине 8–10 см	7.1	1.75	3.73	0.77	9.54	0.83	38.40	5.96	9.79	3.24

тив, его содержание выше в лизиметрических водах из слоя 8–10 см. На этом участке идет постепенное разрушение дернины, связанное с внедрением древесных растений, что способствует большему вымыванию из верхнего слоя органических веществ.

Таким образом, в почве, формирующейся под древесными растениями (в парцеллах), непосредственно под органомным горизонтом происходит закрепление гуминовых кислот в верхнем минеральном слое, по-видимому, за счет их осаждения кальцием и магнием.

Выявлена сезонная динамика содержания органического углерода. Концентрация органического вещества в лизиметрических водах из органомного слоя возрастает осенью по сравнению с весенним сроком (рис. 12), т.е. после летнего разложения опада усиливается вынос подвижных органических соединений. Мигрируют в основном фульвокислоты.

Сходные особенности выявлены и при анализе миграции основных элементов-биогенов, которая характеризуется сезонной динамикой. Содержание калия, кальция, магния, азота, фосфора (табл. 28, рис. 12) увеличивается в лизиметрических водах, собранных на участке с травянистым сообществом и в березовой парцелле в осенний период по сравнению с весенним. Это связано с поступлением свежего растительного опада к концу летнего периода. Менее ясно сезонная динамика по содержанию калия и магния выражена в сосновой парцелле, где она варьирует по годам. Вероятно, это связано с меньшим обилием видов и другим листовенно-хвойным составом подстилки.

В лизиметрических водах парцелл отмечено в целом более высокое содержание практически всех элементов по сравнению с травянистым сообществом (табл. 28). Лизиметрические воды, собранные в парцелле сосны, характеризуются большим

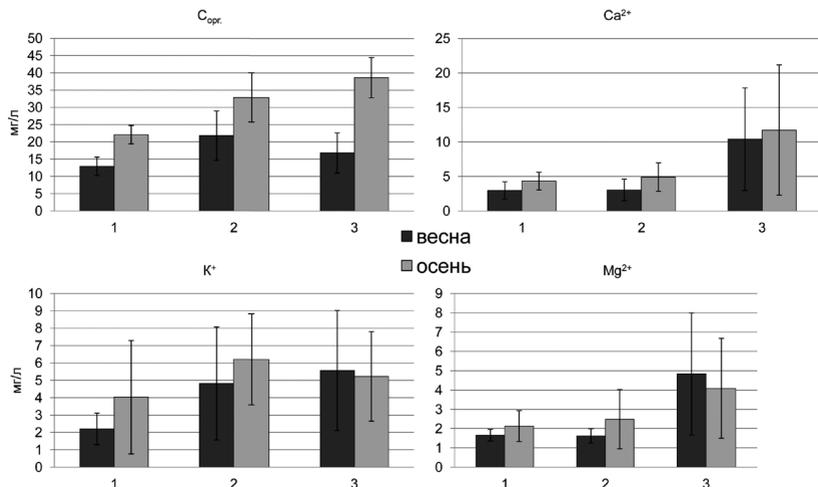


Рис. 12. Сезонное изменение содержания $C_{\text{орг}}$ и элементов-биогенов в лизиметрических водах под органо-аккумулятивным слоем на ПП 1 (средние значения за период 2009–2013 гг.). 1 – травянистое сообщество; 2 – березовая парцелла; 3 – сосновая парцелла.

содержанием кальция и магния (рис. 12), чем в березовой парцелле, что хорошо согласуется с более высокими значениями pH в водах сосновой парцеллы.

Таким образом, на ПП 1 состав и дифференциация лизиметрических вод отражают преобразование дернины на травянистом участке. В травянистом сообществе основной приход растительного материала на поверхность почвы обусловлен отмиранием травянистых растений. Почва еще сохраняет прежнее строение, однако изменение видового состава сообщества (снижение доли растений-задернителей) проявляется в ослаблении слоя дернины, что влияет на дифференциацию состава лизиметрических вод. В парцеллах древесных растений, где основная доля поступающего на поверхность почвы растительного материала приходится на хвойно-лиственный опад, особенности состава лизиметрических вод отражают состав органогенного слоя. В формирующейся лесной подстилке при ее разложении происходит осаждение органо-минеральных соединений за счет закрепления обменными кальцием и магнием образующихся гумусовых веществ. Выносятся из этого горизонта гидрофильные, более подвижные вещества, прежде всего фульвокислоты, которые взаимодействуют с минеральным слоем почвы, способствуя его преобразованию.

Состав лизиметрических вод в почвах ПП 2, 3 (вариант 2).
По сравнению с ПП 1 величины рН в лизиметрических водах, собранных в березняке (ПП 2) и осиннике (ПП 3), несколько ниже (табл. 29). Следует отметить тенденцию к подкислению лизиметрических вод осенью, что связано в основном с существенным увеличением в этот период концентрации $C_{орг.}$

Таблица 29

**Химический состав лизиметрических вод
в почвах березняка и осинника (средние значения), мг/л**

Дата, горизонт отбора проб воды	рН	NH_4^+	NO_3^-	SO_4^{2-}	Cl ⁻	PO_4^{3-}	$C_{орг.}$	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Березняк										
25.05.2009 г. под А0А1	6.3	1.69	3.09	1.2	3.64	0.71	29.00	5.06	2.34	1.07
02.10.2009 г. под А0А1	4.7	6.30	8.71	н/о	5.37	0.62	41.73	8.40	3.02	2.00
20.05.2010 г. под А0А1	5.5	0.92	0.83	0.19	1.27	0.23	13.90	2.48	1.32	0.35
08.10.2010 г. под А0А1	4.6	2.82	7.29	н/о	4.77	1.52	29.04	4.76	2.20	0.70
23.05.2011 г. под А0А1	4.9	2.67	2.74	н/о	5.88	1.11	30.70	4.83	2.60	1.68
23.05.2011 г. под А2В	4.9	1.06	1.60	н/о	2.94	0.02	15.26	4.23	2.52	0.85
07.10.2011 г. под А0А1	4.8	н/о	3.20	0.96	1.32	0.76	39.5	4.12	5.95	1.35
04.06.2012 г. под А0А1	4.6	6.30	1.11	5.76	1.44	0.02	38.7	2.81	3.45	1.61
04.06.2012 г. под А2	4.9	0.90	0.86	1.44	1.72	0.11	32.2	2.38	1.13	0.49
02.10.2012 г. под А0А1	5.0	0.59	5.77	2.16	0.86	0.46	21.3	6.59	5.92	2.20
02.10.2012 г. под А2	4.9	0.47	3.22	3.12	1.15	0.23	24.1	1.60	4.58	0.73
29.05.2013 г. под А0А1	5.7	3.03	3.31	н/о	3.33	1.3	30.8	8.84	6.31	1.24
29.05.2013 г. под А2	5.3	0.79	2.66	н/о	1.04	1.38	18.4	2.81	3.23	0.64
10.10.2013 г. под А0А1	5.6	6.81	11.50	н/о	4.77	0.83	64.8	7.22	8.02	2.26
10.10.2013 г. под А2	5.4	0.83	4.63	1.92	1.22	0.58	19.2	3.79	1.73	0.59
Осинник										
25.05.2009 г. под А0А1	5.0	0.92	4.16	2.88	3.07	0.49	25.13	4.54	1.31	0.60
02.10.2009 г. под А0А1	4.9	2.90	7.60	3.37	5.17	0.57	34.60	7.50	1.69	0.93
20.05.2010 г. под А0А1	5.5	0.73	2.02	н/о	1.75	0.66	15.76	4.70	1.33	0.54
08.10.2010 г. под А0А1	5.4	1.10	2.53	н/о	4.77	0.80	23.76	8.39	3.00	0.90
23.05.2011 г. под А0А1	5.6	1.36	1.62	н/о	2.35	0.71	28.1	6.10	1.95	0.9
23.05.2011 г. под А2	5.6	1.03	1.25	н/о	2.74	н/о	20.2	2.91	1.28	0.72
07.10.2011 г. под А0А1	5.9	0.22	3.22	н/о	3.96	1.07	39.5	9.32	8.35	1.90
07.10.2011 г. под А2	5.9	н/о	1.75	н/о	1.82	0.38	33.0	6.28	6.10	1.05
04.06.2012 г. под А0А1	5.7	0.94	1.37	2.88	2.01	1.39	26.8	8.35	1.56	0.62
04.06.2012 г. под А2	5.7	0.94	1.27	2.64	1.72	0.83	22.8	7.04	0.89	1.05
02.10.2012 г. под А0А1	5.8	2.51	4.59	н/о	3.16	1.16	47.9	8.18	8.06	1.31
02.10.2012 г. под А2	5.4	0.59	2.67	н/о	2.16	0.27	41.6	3.74	5.38	0.51
29.05.2013 г. под А0А1	5.7	2.72	4.24	н/о	2.24	0.9	37.6	5.22	5.16	1.19
29.05.2013 г. под А2	5.5	2.55	4.65	н/о	2.30	0.61	42.2	2.78	3.26	1.0
10.10.2013 г. под А0А1	5.9	4.02	4.70	н/о	2.66	1.89	28.8	4.59	2.92	0.93
10.10.2013 г. под А2	5.6	1.00	2.80	1.54	2.90	0.19	24.0	3.66	2.04	0.65

В составе лизиметрических вод преобладает $C_{\text{орг}}$. Его самая высокая концентрация была зафиксирована в осенний период в березняке в 2013 г. в водах, собранных под А0А1 (табл. 29). В осиннике, напротив, его количество невелико. Возможно, это связано с более активным разложением подстилки (лиственного опада) в жаркое лето 2013 г. в березняке, имеющей другой качественный состав по сравнению с осинником.

Следует отметить, что, несмотря на некоторые колебания полученных данных, связанные с различиями в погодных условиях, общее направление процесса изменения состава лизиметрических вод сохраняется. Так, в водах, собранных под минеральным горизонтом, в основном наблюдается снижение концентрации $C_{\text{орг}}$, калия, кальция, магния по сравнению с органомогенным горизонтом, что связано с его закреплением в верхнем минеральном слое (табл. 29). По-видимому, из мигрирующих вод оседают в основном органо-минеральные соединения с выраженными коллоидными свойствами (ГК).

Состав лизиметрических вод характеризуется в целом сезонной динамикой – увеличением концентрации органического вещества и минеральных элементов осенью (табл. 29). Эта динамика более ясно выражена в березняке, а в осиннике – в основном по содержанию кальция (рис. 13).

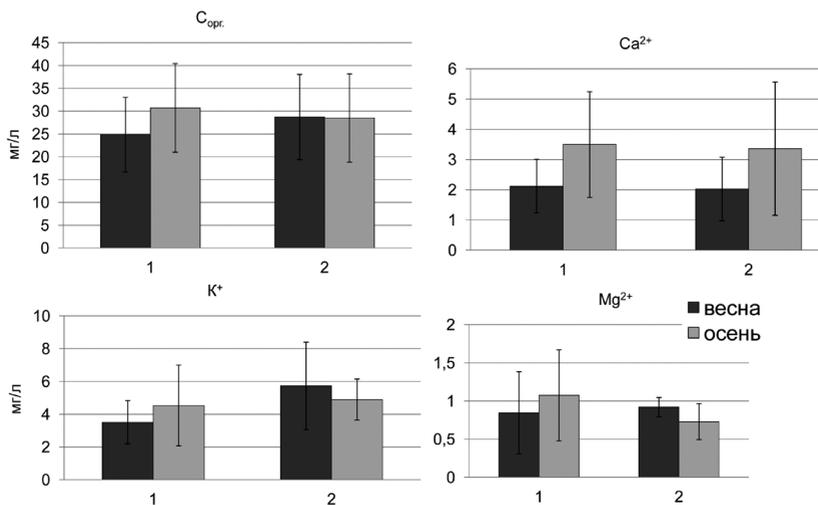


Рис. 13. Сезонное изменение содержания $C_{\text{орг}}$ и элементов-биогенов в лизиметрических водах под органо-аккумулятивным слоем на ПП 2, 3 (средние значения за период 2009–2013 гг.). 1 – березняк; 2 – осинник.

Таким образом, в процессе миграции влаги вглубь почвенного профиля происходит вынос из органо-аккумулятивного слоя органических и минеральных веществ, обуславливающий воздействие, в первую очередь, водорастворимых органических веществ (ФК) на минеральный слой, расположенный под органогенным. Дифференциация состава мигрирующих вод способствует формированию органогенного слоя в почвах в соответствии с типом растительного сообщества. Следует отметить, что принципиальные свойства почвы лесных экосистем формируются на ранних стадиях развития в связи с преобразованием состава и структуры растительного сообщества.

Состав кроновых и лизиметрических вод в ельнике (ПП 4)

В ельнике чернично-зеленомошном (ПП 4) кроновые воды имели в основном слабокислую и близкую к нейтральной реакцию (табл. 30). По сезонам года значительных изменений величины рН не отмечено.

Атмосферные осадки, прошедшие через крону деревьев ели (>120- и >80-летних), характеризовались более высокой концентрацией органического углерода, калия и кальция по сравнению с осадками, собранными под кронами березы, что, по-видимому, связано с разным типом крон этих растений.

Так же, как и в березняке и осиннике, в ельнике хорошо выражена динамика водорастворимых веществ по сезонам года, к концу вегетационного периода увеличивалось их содержание в кроновых водах под всеми древесными породами.

В ельнике также зафиксированы высокие концентрации серы и хлора в осадках, собранных 30 июля 2013 г., как и на ПП 1 и 2, что связано с загрязнением выбросами ОАО «Монди Сыктывкарский ЛПК».

По сравнению с ПП 2 (березняк) и 3 (осинник), величины рН в лизиметрических водах, собранных в ельнике, ниже (табл. 30). Отмечено подкисление лизиметрических вод осенью. Это обусловлено преимущественно увеличением в этот период концентрации $C_{\text{орг}}$.

В составе лизиметрических вод преобладает $C_{\text{орг}}$. Самое высокое его содержание отмечено в осенний период 2013 г. в водах, собранных под горизонтом подстилки (A0).

Как и в березняке и осиннике, общее направление процесса изменения состава лизиметрических вод сохраняется. Так, в водах, собранных под минеральным горизонтом, в основном наблюдается снижение концентрации $C_{\text{орг}}$, калия, кальция, магния по сравнению с органогенным горизонтом, что

Таблица 30

**Химический состав кроновых и лизиметрических вод в ельнике (ПП 4)
(средние значения), мг/л**

Дата, горизонт отбора проб воды	pH	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	PO ₄ ³⁻	C _{орг.}	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Ель >80 лет (кроновые воды)										
29.07.2011 г.	7.3	2.38	1.61	2.67	2.32	3.79	36.0	11.2	7.5	1.55
07.10.2011 г.	6.6	4.36	0.23	н/о	1.82	0.86	33.88	5.96	6.75	1.75
04.06.2012 г.	5.9	0.39	3.10	н/о	1.72	0.04	24.60	3.33	1.44	0.81
26.07.2012 г.	5.5	1.76	2.11	н/о	2.01	0.08	34.00	4.68	2.05	0.61
02.10.2012 г.	5.8	2.11	1.83	н/о	2.59	0.23	35.60	4.53	4.98	1.22
29.05.2013 г.	5.4	0.65	0.93	н/о	1.72	0.06	18.5	2.34	1.67	0.40
30.07.2013 г.	6.8	4.51	2.28	24.98	3.88	1.95	32.34	8.28	2.47	0.70
10.10.2013 г.	6.8	4.95	3.59	н/о	2.44	1.03	28.8	11.8	2.35	0.94
Ель >120 лет (кроновые воды)										
29.07.2011 г.	6.4	4.58	9.06	н/о	5.10	3.17	51.1	21.9	9.1	3.63
07.10.2011 г.	6.2	3.08	4.26	н/о	3.30	1.15	61.9	13.2	10.05	2.25
04.06.2012 г.	5.6	3.13	3.75	н/о	3.16	0.19	45.8	8.82	2.83	1.41
26.07.2012 г.	5.8	4.23	5.07	н/о	3.16	0.16	68.0	12.6	4.11	1.05
02.10.2012 г.	5.6	3.84	4.04	0.96	2.01	0.39	47.9	8.21	3.49	0.80
29.05.2013 г.	5.7	4.95	3.31	н/о	2.87	0.30	31.9	6.92	2.38	0.58
30.07.2013 г.	6.7	4.16	9.57	16.81	8.65	0.33	99.9	20.60	5.87	1.69
Береза (кроновые воды)										
29.07.2011 г.	6.4	5.06	1.9	н/о	0.93	1.98	26.4	7.3	2.24	1.55
07.10.2011 г.	6.0	0.18	1.15	н/о	1.32	0.81	36.7	5.24	5.30	1.45
04.06.2012 г.	5.6	н/о	2.93	н/о	2.59	0.05	14.6	1.55	1.21	0.61
26.07.2012 г.	5.9	0.86	0.62	0.72	1.44	0.07	13.4	2.77	0.96	0.30
02.10.2012 г.	5.8	2.11	1.83	н/о	2.59	0.23	35.6	4.53	4.98	1.22
29.05.2013 г.	5.3	0.41	0.54	н/о	1.03	0.04	16.0	0.89	1.16	0.23
30.07.2013 г.	6.6	1.65	1.49	28.82	2.09	1.43	23.5	6.48	2.20	0.57
10.10.2013 г.	6.6	23.8	6.25	0.38	8.65	5.69	48.0	14.8	5.62	2.56
Лизиметрические воды										
07.10.2011 г. под А0	4.2	3.44	6.85	н/о	2.81	0.32	104.5	8.04	13.6	3.40
07.10.2011 г. под А2	4.8	н/о	3.28	н/о	1.32	0.16	19.76	3.04	5.30	1.45
04.06.2012 г. под А0	4.6	0.23	3.05	н/о	2.01	0.12	21.4	1.66	0.80	0.9
04.06.2012 г. под А2	4.3	0.20	3.44	н/о	2.87	0.03	9.76	1.83	1.58	1.02
02.10.2012 г. под А0	4.3	5.76	6.95	н/о	2.30	0.34	87.5	3.20	8.75	2.13
02.10.2012 г. под А2	4.7	0.20	4.33	н/о	1.01	0.02	12.8	1.34	3.99	1.01
29.05.2013 г. под А0	4.3	2.60	4.0	н/о	2.64	0.29	29.4	3.16	2.86	0.76
29.05.2013 г. под А2	4.3	1.27	3.14	н/о	1.95	0.04	18.5	1.09	2.98	0.79
10.10.2013 г. под А0	4.3	3.41	15.23	н/о	4.44	1.53	60.0	7.30	4.09	1.46
10.10.2013 г. под А2	4.8	0.58	11.76	н/о	2.55	0.06	14.4	1.59	3.09	1.19

связано с их закреплением в минеральном слое. По-видимому, из мигрирующих вод оседают главным образом органо-минеральные соединения.

Состав лизиметрических вод характеризуется так же, как и на остальных площадках, сезонной динамикой – увеличе-

нием концентрации органического вещества и минеральных элементов осенью. Но эта динамика в ельнике выражена более отчетливо.

В заключение отметим, что на всех ПП были зафиксированы сходные тенденции по влиянию древесных пород на состав атмосферных осадков. Установлено, что характер трансформации атмосферных осадков, проникающих через ярусы фитоценоза, связан с типом растительности. Выявлено, что с кроновыми водами в почву в заметных количествах поступают водорастворимое органическое вещество, элементы-биогены (кальций, калий), а также такие элементы, как хлор и, особенно, сера, отражающие загрязнения, связанные с деятельностью промышленных предприятий. Растительный покров, задерживая переносимые воздушным путем поллютанты, способствует загрязнению почвы. Прослеживаются сезонные изменения содержания элементов биогенного происхождения – увеличение их концентрации, особенно $C_{\text{орг}}$, калия и кальция в конце вегетации. Кроновые воды, собранные под древесными растениями (березой, ивой, сосной), замещающими травянистую экосистему, характеризуются сходством состава с кроновыми водами в зрелом лиственном лесу, но меньшей концентрацией элементов в связи с молодым возрастом и малой сомкнутостью крон деревьев. Вымываемые из крон древесных растений органическое вещество и минеральные элементы попадают в органогенный слой и используются самими же растениями, микробиотой как дополнительный источник питательных веществ. Это особенно важно в весенний период до формирования лиственной массы.

В лизиметрических водах под биогенно-аккумулятивным слоем содержание всех рассматриваемых элементов довольно резко снижается, что позволяет заключить о закреплении растворимых продуктов разложения растительных остатков в органогенном горизонте. Можно полагать, что из мигрирующих вод оседают прежде всего органо-минеральные соединения с выраженными коллоидными свойствами. В лизиметрических водах также отмечена сезонная динамика – увеличение осенью концентрации органического вещества, калия, кальция, которая более ясно выражена на ПП 2 (березняк) и 3 (осиник) по сравнению с ПП 1.

Дифференциация состава мигрирующих вод способствует преобразованию свойств субстрата, осваиваемого растительным сообществом, формированию органо-аккумулятивного слоя в почвах в соответствии с типом растительного сообщества.

Биогенно-аккумулятивный слой формируется под воздействием механизма биологического оборота органического (растительного) вещества в соответствии с качественным составом растительного сообщества (главного компонента биоты) как на техногенном минеральном грунте (с нуля), так и на участке, преобразованном рубками. Биогенно-аккумулятивный слой резко граничит с подстилающим минеральным слоем, формирующимся под воздействием абиотических процессов (растворение, соосаждение).

Полученные материалы длительных исследований на стационарных участках дают основание для рассмотрения некоторых теоретических аспектов почвообразования.

Глава 5 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ

Роль биологического фактора в формировании почвы

Любая наука в своем развитии проходит этапы осознания недостаточности теоретической базы в связи с возрастающим объемом знания о предмете науки. Такие кризисные этапы разрешаются через обогащение ранее созданной системы взглядов и принципов. Без таких этапов не может быть развития науки.

В последней четверти XX в. понимание «узости» теоретических представлений проявилось в почвоведении, прошедшем более чем 100-летний период активного накопления знаний. Это отражено в ряде работ дискуссионного характера (Таргульян, 1983; Зонн, 1983; Толчельников, 1985; Вески, 1985; Добровольский, Никитин, 1990; Соколов, 1993, 1997; Арчегова, Федорович, 1988, 2003 и др.). Отметим, в частности, что В.О. Таргульян (1983) предложил модель экогенеза, обладающую большей универсальностью, чем докучаевская парадигма. Экогенез – более широкое по своей сути природное явление, включает как его часть педогенез. И.А. Соколов (1997) считал, что увеличение объема наших знаний о пространственном разнообразии почв показало недостаточность пяти докучаевских факторов почвообразования, принципа их равнозначности. В разных региональных условиях главным может стать фактор, не учтенный в числе традиционных пяти, в связи с чем предлагается ввести ряд факторов – криогенез и вечная мерзлота, вулканическая и гидротермальная деятельность и др. Более подробный обзор литературы приведен ранее (Арчегова, Федорович, 2003). Однако до сих пор главным считается отсутствие общепринятого определения почвы, в котором была бы отражена связь почвы с основным процессом ее образования, обозначены ее границы как природного тела. И.А. Соколов (1997) признавал, что отсутствие в природе четкой границы почвы, как особого тела, не позволяет разработать ее достаточно строгое определение. Предложено рас-

смагивать почву как природное тело, физические и понятийные границы которого имеют очень размытый характер. Иными словами, почву трудно отделить от геологической породы, исходя методологически из «докучаевской парадигмы».

Важно обратить внимание на недавно опубликованную статью В.А. Рожкова (2012), в которой рассматривается актуальная в почвоведении проблема классификации. Автор отмечает, что эта проблема «находится в стадии острых дискуссий энтузиастов классиологов, но единой теории и принципа построения классификации почв пока еще нет...». И далее продолжает: «Прежде всего, это связано с неопределенностью понятия самой почвы ... гипотетичностью многих генетических представлений». Раз нет определения объекта классификации, значит, нет критериев, по которым при морфологическом разнообразии можно выделять в разных географических условиях этот природный объект – почву.

Несмотря на очевидную узость «докучаевской парадигмы», все попытки «расширить» ее рамки не несут принципиальных решений. Ее ядром остается признание рыхлой почвообразующей породы материальной основой почвы, внешнее (морфологическое) проявление почвы – в форме профиля, характеризующегося чередованием (набором) взаимосвязанных между собой слоев – горизонтов. В связи с этим внимание исследователя изначально нацеливается на изучение почвенного тела как профиля, т.е. толщи породы, разделенной на слои до некоей глубины, определение которой при этом не имеет конкретного критерия. Отметим еще, что даже самое детальное изучение свойств измененной породы не может объяснить, определить суть процесса почвообразования. Иначе говоря, изначально «породный» (геологический) подход к определению почвы, ее габитуса не мог дать определения ясных границ почве как особому природному телу. Отмеченные растительные и животные организмы, живые и мертвые, названы как равнозначный фактор в числе традиционных пяти факторов почвообразования.

Рассматривая принципиально важное положение В.В. Докучаева о взаимодействии факторов, в результате чего образовалось своеобразное тело – почва, необходимо отметить, что собственно все абиотические факторы по сути представляют собой земные условия одинакового действия на все живые и неживые объекты на поверхности Земли. Иначе говоря, с ними формирование специфических свойств почвы не может быть связано.

Таким образом, почва как специфическое тело природы теряет ясные очертания. Для перехода в почвоведении на новую ступень в поступательном движении необходим новый взгляд на почву. Развитие теоретической базы почвоведения, осмысление положения почвы во взаимосвязи с другими природными компонентами, образующими биосферу, рассмотрено нами ранее (Арчегова, Федорович, 2003). Здесь отметим некоторые методологические аспекты.

Обсуждение роли живых фотосинтезирующих растений, их отмирающих остатков в формировании почвы весьма активно рассматривается в почвоведении. Новый взгляд на почву, если соотносить его с ролью живых организмов, методологически состоит в раскрытии связи (взаимоперехода) «живого» и «неживого». Иными словами, речь идет о механизме обмена веществ (и энергии), т.е. перехода «неживого» в «живое», что осуществляется в результате биологического оборота органического (растительного) вещества, направленного на удержание «неживого» (минеральные элементы питания) в «живом», превращение его в «свое живое» (рис. 14).

Важное значение имеет прикрепленный образ жизни фотосинтезирующих растений. С накоплением и превращениями в трофической сети локально концентрированной отмершей растительной массы связано также локализованное концентрирование массы гумуса. Этот относительно устойчивый, выпадавший из биологического оборота органический продукт, составил на суше особый класс веществ – гумусовых веществ. Гумус – «обращенная» форма «живого». С охватом растительностью всей суши этот класс веществ приобрел планетарное распространение (Орлов, 1986). Заметим, что в местах скопления *нерастительных* форм живых организмов *нехарактерно* формирование гумуса.

Благодаря своей устойчивости гумус сосредотачивается на (или вблизи) поверхности твердого субстрата, освоенного растительной группировкой. Аккумуляция этой особой формы органического компонента придает слою, обогащенному

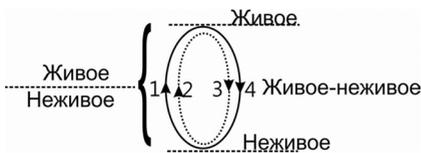


Рис. 14. Схема перехода «неживое-живое»: 1, 2 – «живое» в «неживое»: 3, 4 – «неживое» в «живое».

им, свойства, ранее отсутствовавшие или слабо выраженные в горной породе: специфическую емкость поглощения, влагоудерживающую способность, буферность, структурность и др. Обладая этими свойствами, слой способен удерживать

атмосферную влагу и поступающие с ней, а также из других источников (эоловый принос и др.) как минеральные компоненты, так и промежуточные продукты метаболизма органической массы. Здесь можно напомнить высказывание В.В. Пономаревой: «Природа выработала сложное органически целесообразное приспособление к добыванию растениями минерального питания – процесс гумусообразования, а в более широком смысле – процесс почвообразования» (Пономарева, Плотникова, 1980, с. 76).

Почву относят к биокосному телу (Зольников, 1970), чем подчеркивается связь «неживого» (геологической породы) с живыми организмами. Особенностью этой связи является обмен веществ, происходящий путем питания и выделения, как самосовершающийся, самообновляющийся процесс. Специфика взаимодействия «живого» с «неживым» состоит в том, что обмен веществ становится основным условием существования «живого». Обращаясь к методологическим аспектам выработки понятия «почва», надо отметить, что они состоят в раскрытии основных «моментов взаимоперехода «живое–неживое» (Арчегова, Федорович, 2003, с.14). И далее важно, что «неживое», усвоенное «живым», преобразуется, усваиваясь вновь «живым» как уже «свое “живое”», т.е. «живое» существует, развиваясь (самовоспроизводясь) в среде измененного «неживого».

Наиболее близкой к этим (философским) представлениям явилась концепция почвообразования В.В. Пономаревой, представленная в ее последней работе (Пономарева, Плотникова, 1980). В.В. Пономарева подошла к объяснению сути почвообразования со стороны растительности, особенностей ее водно-минерального питания, которое в разных географических условиях различается, что и проявляется в формировании разных типов растительности и типов почв под нею. В.В. Пономаревой была дана оригинальная (адаптационная) трактовка формирования леса (лесного типа растительности) и подзолистых почв в промывных условиях; черноземов в условиях непромывного водного режима под травянистой растительностью. В целом, почвообразование следует рассматривать как биогеохимическую форму приспособления растений к наиболее продуктивному использованию для питания земной среды обитания. Иначе говоря, через индивидуально выработываемый обмен веществ – «живого с неживым» – «живое» создает себе субстратную среду обитания, т.е. некое особое тело природы – почву.

По существу, В.В. Пономаревой рассмотрена приоритетная роль биологического фактора в процессе почвообразования. Она отмечает, что «в соответствии с огромным разнообразием условий обитания растений на суше Земли формы гумусо- и почвообразования тоже очень разные» (Пономарева, Плотникова, 1980, с. 77).

Работы В.В. Пономаревой еще недостаточно оценены. Необходимо развитие идеи о приоритетной роли биологического фактора в почвообразовании, что поможет подойти с новых позиций к выработке определения почвы, разработке проблемы классификации и др.

Имеются представления о том, что почвообразование началось уже под воздействием микроорганизмов. Могут ли микроскопические формы живого существенно преобразовать породу? Очевидно, нет. Ввиду микроскопических размеров микроорганизмы легко переносятся ветром, водой. Существенное воздействие на поверхностный слой любой горной породы могли оказать только организмы прикрепленного образа жизни и крупных размеров – фотосинтезирующие растения. Именно с появлением на суше Земли такого типа растительности стало возможным концентрирование в «живом» измененной (специфичной) формы «неживого» (минеральных компонентов) и возвращение в освоенный слой рыхлой породы новой формы веществ с отмирающей и трансформируемой растительной массой. Палеоботанические данные (Мейен, 1987) показывают, что суша в основном была заселена к концу девонского периода, заселение шло растительными группами – поселениями. Угленосные толщи следующего, каменноугольного, периода свидетельствуют уже о развитом зеленом растительном покрове Земли. Надо отметить, что именно в пермских породах обнаружены ископаемые почвы, сходные по строению с современными (Чалышев, 1968; Чалышев и др., 1973). Подобные находки более древних почв в литературе не описаны. Биологическое разрушение отмершей растительной массы сопровождается аккумуляцией поглощенного минерального материала в слое, освоенном живыми организмами, в новой форме «живого» с «неживым», что создает условия для использования повторно необходимых веществ новыми поколениями растений. Заметим, что в абиотической среде процесс обмена веществ происходит с разрушением неживого объекта (геологической породы) и переносом (водой, ветром) продуктов разрушения.

Взаимодействие «живого» с «неживым» сопровождается появлением новых органо-минеральных компонентов в породе

и нового процесса – биологического оборота веществ (и энергии). Именно он создает новые благоприятные условия для самовозобновления растительности на месте ее поселения, в частности, при освоении суши. Надо обратить внимание на тот факт, что поступление в верхний слой породы значительных масс растительного отмершего вещества – этого своеобразного отхода жизнедеятельности растительных организмов, необходимость его утилизации, обусловили отбор и концентрирование микро-(мезо) организмов, формируя сообщество живых организмов – биоту. Наполнение освоенного субстрата сложными продуктами биологической трансформации не только отмершей растительной массы, но и прижизненными выделениями растений, придает новые свойства породе, преобразуя ее в качественно новое тело, функционально связанное с живым сообществом процессом биологического оборота органического вещества. Формируется система растение ↔ почва, основой которой является трофическая связь. Именно этот процесс обеспечивает самовоспроизводство живого сообщества, а, следовательно, и новообразованного природного тела, которое через этот процесс генетически связано с живым комплексом, составляя с ним единую систему. Таким образом, почва возникает и эволюционирует как некое новое, «третье тело», при взаимодействии растительности – «живого» с заселяемым субстратом – горной породой – «неживого».

Свойства почвы, ее габитус формируются конкретным типом растительности. В результате возникает пространственное разнообразие биогеоценозов (БГЦ), сочетание которых в разных климатических, литологических, гидрологических условиях образует территориально выраженные единицы, составляющие закономерно разнообразный почвенно-растительный покров Земли – биосферу.

Таким образом, почва, по существу, является порождением «живого», становясь его необходимым компонентом. Главным и единственным фактором формирования почвы является биологический. Как уже было отмечено, климат, литосфера, гидросфера – это общие для Земли условия. С ними связаны как абиотические, так и биотические процессы. На разных горных породах, в разных условиях рельефа формируется разная растительность, а следовательно – разные почвы и разные типы БГЦ.

Отметим, что в определении почвы, данном В.В. Докучаевым, заложено внутреннее противоречие признанием (постулированием) равенства названных пяти факторов, ответственных за образование почвы. Это, поставив в один ряд условия и

собственно главный процесс, без которого почва как специфическое природное образование просто не может образовываться, в течение более 100-летнего периода развития почвоведения не позволило определить габитус почвы (ее нижнюю границу), выявить отличия от геологии собственно почвоведения, которое оказалось продолжением геологии.

Принцип системности и понимание почвы как компонента экосистемы

Рассмотренный методологический аспект, основанный на экосистемном (биоценотическом) подходе, позволяет понять роль и положение почвы как особого, специфического образования в эволюции растительности на поверхности Земли (биоты в целом). Признание генетической связи почвы с биотой определило и границы этого особого природного тела. При таком понимании почвы становится ясно, что как особое природное тело почва по своему значению представляет собой аккумулятивное образование, обеспечивающее самовоспроизводство главного компонента экосистемы – биоты, что и определяет ее (почвы) границы. Нижняя граница имеет определенные маркеры. Физически она определяется резким переломом содержания основной массы подземных органов растений, величины биологической активности, содержания гумуса и элементов-биогенов. Надо заметить, что периодически в почвоведении возникала дискуссия о критериях, позволяющих выделить нижнюю границу почвы (Чижиков, 1968, 1969). При этом в качестве критериев выдвигались показатели, связанные с деятельностью биоты, т.е. биологические критерии.

Почва формируется и самовоспроизводится только в рамках экосистемы (биоценоза), ее сущностное свойство – плодородие – является результатом жизнедеятельности биотического комплекса (растительности, мезо-(микро)-организмов). При этом почва – компонент всегда конкретного типа растительного сообщества, приспособленного к определенным условиям – составу горной породы, рельефу, гидротермическому режиму. Заметим, что на тип растительного сообщества как главного индикатора типа почвы обращают внимание многие исследователи, рассматривая проблему пространственного распределения разных типов почв. Отметим еще, что почва формируется под растительным сообществом на самых разных рыхлых породах.

Физическое тело почвы может быть органо-минеральным, органогенным (рис. 15), но отделяемым от горной породы характерными рассмотренными критериями.

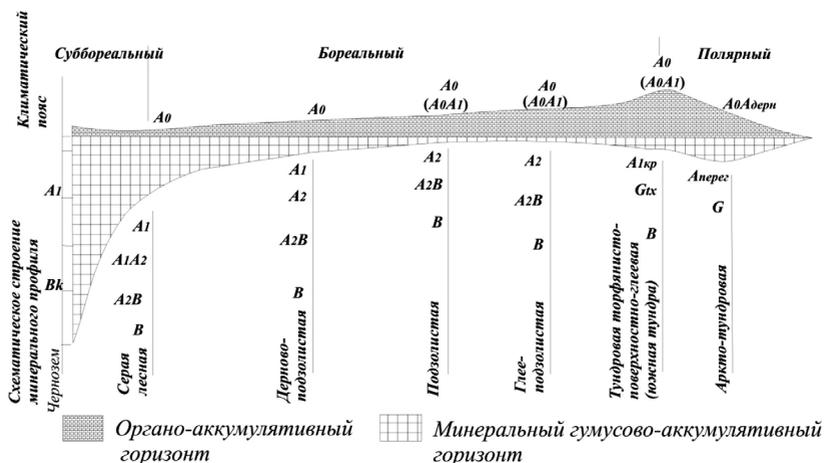


Рис. 15. Географическое разнообразие почв.

Рассматривая почву как компонент экосистемы, важно отметить, что экосистема является открытой системой, обменивающейся продуктами функционирования с окружающей средой. Обмен с подпочвенной толщей, т.е. горной породой, происходит через почву – границу экосистемы в целом (Арчегова, 1972). Следствием такого обмена является изменение породы под почвой выносимыми водорастворимыми органическими, органо-минеральными веществами. В зависимости от типа экосистемы, климатических условий и характера подстилающих почву пород, их преобразование приобретает разный тип, что и рассматривается в современном понимании как разнообразие почвенных профилей или самих типов почв. По сути, эти преобразования подстилающей породы – есть результат абиотических процессов – растворения, переноса, осаждения продуктов взаимодействия с органическими веществами минеральных компонентов подпочвенной толщи. Характерным признаком для подпочвенного типа дифференциации (преобразования) породы является постепенное ослабление процесса воздействия почвы в соответствии со снижением концентрации органических веществ, выносимых из почвы. В условиях высокого увлажнения формируется резко дифференцированная толща, в засушливых условиях влияние почвы имеет слабо выраженную дифференциацию подпочвенной толщи.

Таким образом, принимая как характерный признак строения почвы ее минеральный профиль, неизбежно объединяются два образования разного генезиса, что и приводит к поте-

ре четких границ почвы, ее ясных отличий от породы, потере признаков, отделяющих почву от горной породы, что особенно ощутимо проявляется в работе над почвенной классификацией.

Развитие почвы лесной экосистемы в процессе самовосстановительной сукцессии

В рамках приведенного обзора теоретических аспектов на современном уровне развития почвоведения рассмотрим результаты собственных многолетних комплексных исследований на этапе развития лесной экосистемы в процессе самовосстановительной сукцессии в среднетаежной подзоне европейского северо-востока России. Главные положения, обсуждаемые в настоящей главе, опираются на результаты этих исследований. Методологической основой теоретических представлений о развитии почвы, как рассмотрено выше, является принцип системности.

Согласно принципу системности, любая природная (антропогенная) экосистема представляет собой целостное образование функционально взаимосвязанных компонентов – сообщества фотосинтезирующих растений, фаунистически-микробного комплекса, трансформирующего отмирающую фитомассу, и субстрата, аккумулирующего продукты трансформации, т.е. почвы (Посттехногенные экосистемы..., 2002). Механизмом, объединяющим в целостное единство компоненты экосистемы, является биологический оборот органического (растительного) вещества. Регулярное поступление растительных остатков обеспечивает устойчивую почвенную основу самовоспроизводства растительного сообщества, экосистемы в целом. С позиций системного подхода, почва, как природное образование, эволюционно формируется в рамках экосистемы, вне ее не функционирует, являясь частью сложной системы «растение – почва», точнее «биота – почва». Разнообразие природно-климатических условий определяет типовое разнообразие экосистем и их компонентов.

Результаты многолетних комплексных исследований в средней подзоне таежной зоны на стационаре «17-й км» позволяют выявить закономерности преобразования (формирования) почвы в процессе самовосстановительной сукцессии на посттехногенных субстратах (площадка 1).

В таежной зоне самовосстановительная сукцессия зонального типа лесной экосистемы (ельники) развивается через промежуточный этап формирования лесной экосистемы, древес-

ный ярус которой образуют преимущественно быстрорастущие мелколиственные породы – береза, осина, ольха (Шенников, 1964), а также сосна и лиственница.

Как следует из первой части книги (главы 1–4), к началу наблюдений на техногенном субстрате (ПП 1, вариант 1) сформировалось многолетнее злаково-разнотравное сообщество с характерной почвой лугового типа. Особенно важно обратить внимание на морфологическое оформление органо-аккумулятивного слоя, представленного дерниной и гумусовым горизонтами с обилием корней, под которым практически без заметных изменений следовал техногенный субстрат. Таким образом, под воздействием жизнедеятельности растительного сообщества, точнее, биоты в целом, сформировалось новое, «третье» тело – почва – компонент экосистемы, необходимый для самовоспроизводства биоты – главного компонента устойчивого развития образовавшейся экосистемы.

По нашим наблюдениям, начальная стадия замещения многолетней травянистой экосистемы на лесную сопровождается качественно-количественным изменением состава растительного сообщества, преобразованием (разрушением) типовых признаков луговой почвы (дерново-гумусового биогенно-аккумулятивного слоя). В древесно-кустарниковых группах (парцеллах), замещающих травянистую экосистему, оформляется травянисто-лиственный слой малой толщины – 1,5–2 см, слабо разложившейся подстилки, под которой следует суглинистый техногенный субстрат.

На ПП 2 и 3 (вариант 2) – в экосистемах спелой стадии развития мелколиственной лесной экосистемы (промежуточный этап демулационной сукцессии), биогенно-аккумулятивный слой дифференцирован на слой травянисто-лиственной лесной подстилки (около 2 см) и гумусовый горизонт (гор. А1) мощностью до 5–6 см, под которым достаточно ясно выражен белесо-сероватый подзолистый суглинистый слой, сменяющийся породой (коричнево-буроватый суглинок). Итак, морфологически выделяются биогенно-аккумулятивный слой и под ним – минеральная толща, дифференцированная по типу подзолистой почвы. На первый взгляд, приведенное описание соответствует традиционному представлению о профиле подзолистой почвы лесной экосистемы. Однако сопоставление компонентов на разных стадиях этапа замещения травянистой злаково-разнотравной экосистемы на мелколиственную лесную позволяет высказать некоторые иные соображения.

Обратим внимание на некоторые общеизвестные факты. Фотосинтезирующая растительность, осваивая субстрат, син-

тезирует разнообразные органо-минеральные соединения. Отмирающая растительная масса трансформируется фаунистически-микробным комплексом. Субстрат обогащается комплексом органического вещества – гумусом, минеральными соединениями. Накапливаясь во времени, новообразованные вещества преобразуют освоенный растениями субстрат в биогенно-аккумулятивный слой, обеспечивающий запасом аккумулярованных элементов питания, устойчивое воспроизводство растительного сообщества и в целом экосистемы. Формирующееся в рамках экосистемы под воздействием биоты биогенно-аккумулятивное образование является собственно почвой, эволюционно связанной как природное образование с жизнедеятельностью и воспроизводством растительного сообщества – главного системообразующего компонента. В соответствии с типом (составом, количеством фитомассы) растительного сообщества формирующейся (ПП 2, 3, вариант 2) или преобразующейся (ПП 1, вариант 1) экосистемы образуется новый или трансформируется ранее образованный биогенно-аккумулятивный слой (почва).

Морфологически почва в зрелой стадии мелколиственной лесной экосистемы (вариант 2) характеризуется органогенным горизонтом (подстилка) и гумусовым горизонтом (гор. А1). Нижняя граница определяется снижением биологической активности, признаков аккумуляции органического вещества (гумус) и минеральных элементов-биогенов. В преобразующейся травянистой экосистеме (ПП 1, вариант 1) в древесных парцеллах на месте разрушившейся луговой (дерновой) почвы оформляется органогенный слой почвы лесной экосистемы – подстилка. Приведенные результаты многолетних комплексных исследований на стационаре позволяют связывать формирование и преобразование почвы с биологическим фактором. Процесс почвообразования является биогенно-аккумулятивным процессом. Оптимальным проявлением почвенных свойств в природе считается чернозем (Пономарева, Плотникова, 1980.). В своей книге эти авторы практически утвердили биологическую сущность почвы, объединив почвообразование с гумусообразованием. Однако в условиях Земли альтернативным аккумулятивному является процесс вертикальной водной миграции. Его изучению уделено много внимания. Напомним хорошо известные публикации Е.И. Шиловой, В.В. Пономаревой, ряд других. Именно с процессом вертикальной миграции связана дифференциация на слои (горизонты) подпочвенной толщи минеральной породы. Почва как компонент экосистемы является ее открытой частью. Выносимые атмо-

сферными осадками водорастворимые, в первую очередь, органические соединения, взаимодействуют с породой и в результате развития абиотических процессов растворения-осаждения формируют соответствующие подпочвенные горизонты. Нижняя граница растянута в связи с постепенным снижением концентрации мигрирующих органических веществ кислотной природы (фульвокислоты и др.). Итак, биогенно-аккумулятивный слой является собственно почвой, природным объектом, генетически связанным с освоением суши фотосинтезирующей растительностью, в процессе развития которой (трансформация ее отмершей массы) формируется новое природное тело – почва, эволюционное значение которого – обеспечивать устойчивое саморазвитие растительности.

Подпочвенное образование, дифференцированное на слои (горизонты), генетически связано с почвой, процессом миграции водорастворимых продуктов, представляя собой самостоятельный объект исследования. Отметим, что в соответствии с типом почвы, ее разнообразием в разных природно-климатических условиях также закономерно формируется подпочвенная толща породы. Это иллюстрирует рис. 15, где показано географическое разнообразие почв. Отметим, что к северу с переходом в лесную зону и далее в тундровую сокращается мощность гор. А1, биогенно-аккумулятивный слой преобразуется в лесную подстилку – органогенное биологически активное образование. Меняется также закономерно морфологическое строение минеральной подстилающей толщи в соответствии с качественно-количественным изменением состава накапливающейся фитомассы и продуктов ее трансформации.

Особенности этих процессов (аккумуляции и вертикальной миграции водорастворимых продуктов из аккумулятивного слоя) изучались достаточно подробно (Пономарева, 1964; Пономарева, Плотникова, 1980).

Еще раз отметим генетическую связь типа почвы и особенностей дифференциации подпочвенной толщи породы в результате воздействия водорастворимых веществ в процессе вертикальной миграции из почвы. Это на длительное время отвлекло внимание от сущностных свойств почвы как эволюционно особого природного тела. При этом подпочвенная толща продолжает рассматриваться как единый почвенный профиль. Активизация исследований по классификации почв показала, что имеются затруднения, связанные с объединением названных частей в едином профиле.

В статье В.А. Рожкова (2012) было четко отмечено, что затруднения при разработке классификации почв связаны с от-

сутствием до сих пор общепринятого определения и выделением характерного основного признака почвы, по которому ее можно выделить как особый объект природы в любых природных условиях. Иными словами, проблема классификации должна развиваться по отношению к двум разным, но связанным объектам. Становится все более очевидной необходимость развития (обогащения) теоретических основ почвоведения.

Итак, почва формируется и функционирует только в рамках экосистемы во взаимосвязи с биотой. Механизмом, объединяющим в устойчивую систему компоненты природной экосистемы, является биологический оборот растительного вещества, аккумуляция продуктов трансформации, в том числе гумуса. В соответствии со свойствами, почва имеет определенные границы, морфологические признаки, разнообразие природно-климатических условий проявляется в многообразии типов экосистем и их компонентов. Эколого-эволюционное значение почвы – обеспечение устойчивого самовоспроизводства растительного сообщества (биоты и в целом экосистемы). В соответствии со сменой к северу природно-климатических условий изменяется морфологическое строение почвы от органо-минерального (чернозем) до органогенно-аккумулятивного (подстилка) (Пономарева, Плотникова, 1980).

Видовое изменение растительного сообщества является интегральным показателем состояния экосистемы. Качественно-количественное изменение его состава и структуры, вызванное внешним воздействием, обуславливает изменение емкости биологического оборота органического (растительного) вещества и, следовательно, преобразование параметров биогенно-аккумулятивного слоя. В конечном итоге, формируется новый тип экосистемы и ее компонентов, соответствующий конкретному растительному сообществу. Являясь открытой системой, экосистема через почву воздействует водорастворимыми продуктами на породу, подстилающую почву. Под влиянием абиотических процессов растворения-осаждения закономерно определенным образом дифференцируется порода. Исходя из этого, при разработке классификации почвы с учетом географического разнообразия необходимо учитывать систему – почвы и подпочвенной толщи.

Глава 6

УСКОРЕННОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ НА НАРУШЕННЫХ ЗЕМЛЯХ В ПОДЗОНЕ КРАЙНЕСЕВЕРНОЙ ТАЙГИ

Проблема уничтожения естественных лесов имеет глобальные масштабы. Известно, что разрушение лесных экосистем ведет к сокращению биоразнообразия, нарушению стабильности окружающей среды. Важно отметить негативное влияние сведения лесов на традиционный образ жизни местного населения, основанного на использовании лесных ресурсов. В книге К.С. Лосева, Р.А. Мнацаканяна, Н.М. Дронина «Потребление возобновляемых ресурсов...» (2005) отмечено, что в мире освоено около 63% суши, что имеет последствиями нарушение баланса элементов-биогеоценозов (биологического оборота веществ) и, как следствие, устойчивости биосферы в целом – среды обитания человечества. Указывается, что в настоящее время необходимо «остановить разрушение этого важнейшего экологического ресурса, а затем приступить к естественному восстановлению лесных экосистем». Это особенно важно для северных условий, где лесные экосистемы особенно уязвимы к техногенному воздействию. Таежные лесные экосистемы при техногенных воздействиях легко разрушаются и медленно самовосстанавливаются. Причину этого весьма обстоятельно рассмотрела В.В. Пономарева (1970, 1980). Она отмечала, что леса приспособлены к сильно выраженным элювиальным условиям: «... леса сводят до минимума вымывание из почвы элементов-биофилов, накапливая их не в почве, а в своей огромной вечно живой фитомассе, и живут за счет автономного, надпочвенного круговорота элементов между живыми организмами и их отмирающими остатками, поступающими в лесах на поверхность почвы» (Пономарева, Плотнокова, 1980; с. 188). Таким образом, в таежных лесах в условиях избыточного увлажнения, обуславливающего промывной режим почв, биологический оборот приближается к автономному, замкнутому типу. Древесные растения в своей огромной многолетней фитомассе удерживают усвоенные из верхнего слоя

земной коры запасы элементов-биогеоценозов и возвращают их частично с опадом. При его разложении питательные элементы усваиваются основной массой корней из подстилки, вовлекая их в новый биологический цикл. В связи с этим подчеркнем, что для почв северных лесов характерен малой мощности органогеогенный биогеоценоз-аккумулятивный (продуктивный) слой, под которым образуются почти бесплодные минеральные горизонты с низкой поглотительной способностью, практически лишенные элементов питания растений.

При техногенном воздействии маломощный органогеогенный слой легко разрушается и обнажаются минеральные горизонты, биологически инертные и практически непригодные для произрастания растений. Самовосстановление уничтоженных лесов на истощенном, сильно промываемом субстрате крайне затруднено. Вследствие этого земли, на которых в прошлом произрастали леса, подвергаются ускоренной эрозии, что еще более замедляет самовосстановительный процесс. Отмеченное выше свидетельствует о необходимости содействия самовосстановлению лесных экосистем на посттехногенных территориях в условиях Севера.

В настоящей главе рассмотрены результаты экспериментальных исследований по ускоренному (управляемому) восстановлению лесной экосистемы на посттехногенной территории при использовании разработанной нами концепции «природовосстановления» и на ее основе системы практических приемов с учетом природно-климатических условий региона. Ранее отмечено, что методологически наши исследования опираются на принцип системности, согласно которому любая природная экосистема (биогеоценоз) представляет собой целостное единство функционально связанных компонентов – растительного сообщества и осваиваемого им субстрата, преобразуемого в продуктивный слой. Механизмом, связующим базовые компоненты в единство, является биологический оборот органического вещества (растительные остатки). Появление особого класса веществ – гумуса, меняет свойства субстрата (структурность, поглотительную способность и др.), аккумулирующего элементы питания в доступной для растений форме. В результате формируется новый объект природы – почва. Компоненты экосистемы не могут функционировать изолированно вне связи друг с другом механизмом биологического оборота веществ, и, как следствие – ни один из компонентов экосистемы не может быть восстановлен отдельно друг от друга, т. е. вне экосистемы.

Исследования возможности и способов восстановления лесных экосистем проведены в Усинском р-не Республики Коми (подзона крайнесеверной тайги).

Основа экономики района – нефте-газодобывающая промышленность, развитие которой обуславливает увеличение площади нарушенных земель, в том числе уничтожение значительных по площади лесных экосистем. Распространенным техногенным объектом на данной территории являются песчаные карьеры. Песчаный материал, добытый в них, используется при строительстве дорог, отсыпках буровых площадок и скважин. Самовосстановление растительного покрова в суровых климатических условиях на песчаных техногенных субстратах, бедных элементами питания, происходит крайне медленно, что способствует быстрому развитию эрозии (рис. 16). Поэтому актуальной становится разработка ускоренной технологии восстановления лесных экосистем на данном типе нарушенных объектов.

Исследования разработанных нами новых приемов восстановления лесных экосистем проводили в сравнении с традиционными приемами рекультивации.



Рис. 16. Развитие эрозии на нерекультивированной территории песчаного карьера (Усинское месторождение нефти).

Традиционные приемы восстановления нарушенных лесных территорий на Севере

Цель традиционных приемов рекультивации нарушенных лесных территорий – создание посадок основных лесообразующих пород (ели, сосны), восстановление леса как природного ресурса, пригодного для дальнейшего использования, т.е. методологической основой является ресурсный подход, как правило, без учета региональных природно-климатических особенностей.

Для создания лесных культур используют одно-трехлетние сеянцы хвойных пород с открытой корневой системой. Посадка ведется без приемов, улучшающих посттехногенный субстрат. Таким образом, задачей традиционной технологии становится создание лесопосадок, а не восстановление ранее разрушенных лесных экосистем прежнего качества (Лосев и др., 2005).

Создание лесных культур с целью лесовосстановления на территории Усинского р-на проводилось с 1958 г. силами Усинского лесхоза. С 1991 по 2007 г. лесхозом созданы лесные культуры на общей площади 1020.8 га. Доля культур *Pinus sylvestris* составила 53.6%, *Picea obovata* – 27.6, *Pinus sibirica* – 1.5%. Для закрепления посттехногенного субстрата использовали черенки ивы, площадь посадок которой составила 17.3%. Основная площадь посадок (44.8%) приходится на карьеры.

Нами проведены наблюдения на участках с использованием традиционных приемов восстановления лесных культур, расположенных на территории песчаного карьера № 8 «б» (66°16' с.ш., 57°16' в.д.).

Песчаный субстрат на карьере № 8 «б» характеризуется низким содержанием физической глины (сумма частиц <0.01) 5-6% (табл. 31), что обуславливает также низкие поглощательную способность и влагоемкость, легкую подверженность водной и ветровой эрозии.

На части карьера № 8 «б» в 2001 г. Усинским лесхозом проведена посадка трехлетних сеянцев сосны из Удорского питомника без предварительного улучшения субстрата.

На второй год после посадки содержание важнейшего элемента-биогена – азота, составляет 0.2 мг/100 г в.с.п., что соответствует малому содержанию органического углерода (табл. 32). На восьмой год после посадки сеянцев существенных количественных изменений в составе элементов питания и поглощенных оснований не отмечено, остается низким и содержание органического углерода.

Таблица 31

Гранулометрический состав техногенного субстрата в карьере 8«б»

Глубина взятия образца, см	Гигроскопиче- ская влага, %	Потеря от обработки HCl, %	Количество частиц диаметром (мм), %						Сумма частиц >0.01	Сумма частиц <0.01
			1.0– 0.25	0.25– 0.05	0.05– 0.01	0.01– 0.005	0.005– 0.001	<0.001		
0-20	0.39	0.00	11.35	81.88	0.66	1.47	0.30	4.34	93.89	6.11
20-40	0.43	0.37	11.94	80.59	2.11	0.04	0.64	4.67	94.64	5.36

На восьмой год после посадки сохранность высаженных семян сосны составила 50%, высота растений – 53 см, при диаметре кроны 43 см. Слабое развитие сосны, определяемое бедностью субстрата элементами питания, способствует поражению растений болезнью снежное шютте, которая отмечена у 60% сохранившихся растений. Болезнь дополнительно угнетает рост сосны, нередко вызывая ее гибель. Напочвенный покров не развит, проективное покрытие до 1%. Отмечено шесть видов пионерных травянистых растений (*Festuca ovina* L., *Chamaenerion angustifolium*, *Hieracium umbellatum* L., *Equisetum arvense*, *Carex arctisibirica* (Jurtz.) Czer., *Rumex acetosella* L.) и в микропониженных мхи рода *Polytrichum* и *Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid., а также лишайники рода *Stereocaulon*.

Таким образом, именно неблагоприятные свойства техногенного субстрата не обеспечивают активное приживание и развитие высаженной культуры. Заметим, что при самовосстановлении первым этапом является весьма длительный процесс формирования травянистой экосистемы, соответствующей почвы с биогенно-аккумулятивным слоем (см. гл. 2).

Другой распространенный прием восстановления нарушенных земель – посадка черенков ивы. Рассмотрим результаты применения данного приема на том же карьере 8«б». Посадка проведена под руководством эколога ООО «Северная нефть» В.И. Парфенюка в 1991 г. также без предварительного улучшения субстрата (Парфенюк, 1994). Расстояние между черенками в ряду составляло 25 см, между рядами – 2 м. На 12-й год после посадки (наблюдения 2002 г.) сохранность ив составила лишь 20%, высота кустов – около 1 м. Отмечены единичные экземпляры травянистых растений: *Festuca ovina*, *Chamaenerion angustifolium*, *Hieracium umbellatum*, *Equisetum arvense* –

Таблица 32

Агрохимические показатели субстрата
с посадкой трехлетних сеянцев сосны

Год	Глубина взятия образца, см	рН водн.	С _{орг.} %	N _{гидр.}	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺
				мг/100 г в.с.п.			ммоль/100 г в.с.п.	
2002	0–10	5.9	0.1	0.2	8.4	2.5	0.3	0.2
	10–20	5.9	0.3	0.3	8.0	2.8	0.2	0.2
2008	0–10	6.0	0.3	0.1	9.4	2.3	0.3	0.2
	10–20	5.9	0.4	0.4	7.9	3.1	0.2	0.2

видов, ранее отмеченных в посадке саженцев сосны, характерных для начальной стадии самовосстановительной сукцессии. Проективное покрытие травянистого яруса составляло менее 1% (табл. 33).

На 20-й год (наблюдения 2011 г.) состояние кустарникового яруса практически не изменилось, напочвенный покров остается неразвитым (рис. 17).

На поверхности субстрата местами отмечена пленка водорослей и протонема мхов. В микропонижениях – мхи *Polytrichum piliferum* Hedw. и *Ceratodon purpureus*. Всего на 20-й



Рис. 17. Посадка ивы без улучшения субстрата на территории песчаного карьера № 8 «б» (Усинское месторождение нефти), 20-й год опыта.

Таблица 33

**Видовой состав растений напочвенного покрова
на участке с посадкой ивы**

Вид	Встречаемость, %			Проективное покрытие, %			Высота, см
	2002 г.	2006 г.	2011 г.	2002 г.	2006 г.	2011 г.	
Травянистые растения							
<i>Carex arctisibirica</i> (Jurtz.) Czer.		7	5		>1	>1	15
<i>Chamaenerion angustifolium</i> (L.) Scop	16	29	20	>1	>1	>1	20–30
<i>Equisetum arvense</i> L.	48	56	50	1	>1	>1	10
<i>Festuca ovina</i> L.	25	53	60	>1	>1	>1	10–25
<i>Hieracium umbellatum</i> L.	24	29	20	>1	>1	>1	20–30
<i>Leucanthemum vulgare</i> Lam.	4	–	–	>1	–	–	10
<i>Rumex acetosella</i> L.	36	14	5	>1	>1	>1	15–20
<i>Solidago virgaurea</i> L.	–	17	10	–	>1	>1	10–25
<i>Tripleurospermum perforatum</i> (Merat.) M. Lainz	8	7	–	>1	>1	–	10
<i>Avenella flexuosa</i> L.	–	–	5	–	–	>1	25
Мхи							
<i>Bryum</i> sp.	–	7	5	–	>1	>1	1
<i>Ceratodon purpureus</i> (Hedw.) Brid.	–	7	10	–	>1	1	1
<i>Polytrichum piliferum</i> Hedw.	–	7	60	–	>1	5	1
Лишайники							
<i>Stereocaulon paschale</i> (L.) Hoffm.	–	7	15	–	>1	>1	1–2
<i>Cladonia</i> sp.	–	–	7	–	–	>1	1–2

Примечание: прочерк – не отмечен.

год после посадки черенков ивы отмечены восемь видов травянистых растений, три – мхов, а также два вида лишайников.

Химический анализ образцов субстрата на 12-й год после посадки ив показал низкое содержание элементов-биогенов, органического вещества, на 16-й – агрохимические показатели практически не изменились (табл. 34). При очень слабом развитии травянистого покрова песчаный субстрат подвергается эрозии. На 12-й год после посадки отмечен эрозионный разрыв шириной 2.5 м, глубиной 1 м, длиной 5 м. На 16-й год он увеличился в размерах: глубина достигла 1.5 м, длина – свыше 10 м.

Таким образом, положительный эффект посадки черенков ивы для рекультивации посттехногенного субстрата практически не выявлен.

Таблица 34

Агрохимические показатели субстрата участка с посадкой ивы

Год	Глубина взятия образца, см	рН _{водн.}	С _{орг.} ¹ %	N _{гидр.}	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺
				мг/100 г в.с.п.			ммоль/100 г в.с.п.	
2002 (12-й год после посадки)	0–10	5.9	0.2	0.1	9.4	2.3	0.3	0.2
	10–20	5.9	0.2	0.4	7.8	3.1	0.2	0.2
2006 (16-й год после посадки)	0–10	5.8	0.2	0.1	7.9	6.5	0.8	0.6

Иными словами, метод восстановления леса на посттехногенных объектах посадкой малолетних саженцев древесных растений и кустарников не является экологически и экономически целесообразным без предварительной подготовки субстрата.

Как показали наблюдения за процессом самовосстановительной сукцессии на участке стационарных наблюдений «17-й км», активное лесовосстановление происходит на этапе сформированной многолетней травянистой экосистемы. Важным ее компонентом является биогенно-орган-аккумулятивный слой (почва). Самовосстановление древесных растений составляет развитие следующего этапа замещения травянистой экосистемы (см. гл. 2). В соответствии с конкретными (региональными) природно-климатическими условиями формируется и тип напочвенного покрова, подпитывающего запас (с древесным опадом) элементов питания в орган-аккумулятивном слое.

Итак, по нашим наблюдениям на стационарном участке «17-й км», природная последовательность этапов самовосстановительной сукцессии отражает процесс формирования биотического-почвенной (новое природное тело) системы. Этот концептуальный подход использован нами при развитии практической системы приемов ускоренного (управляемого) «природовосстановления».

Рассмотренные данные позволяют сделать следующее заключение. При применении традиционных приемов рекультивации нарушенных лесных территорий формирование растительного покрова происходит медленно, что тормозит восстановление лесной экосистемы в целом, активизирует эрозионные процессы. Достаточно очевидно, что для оптимизации (ускорения) процесса восстановления необходимо использование комплекса приемов, направленных на стимулирование развития главного механизма развития экосистемы – биологического оборота органического (растительного) вещества,

создание условий для интенсивного развития на поверхности субстрата растительного покрова, аккумуляции органического вещества в субстрате. Иными словами, при восстановлении в условиях Севера техногенно нарушенной лесной экосистемы необходимо стимулирование развития основных компонентов системы и, в первую очередь, растительного сообщества в его, возможно, полном разнообразии, т. е. не только древесного яруса, но и напочвенного покрова, формирование биогенно-аккумулятивного слоя – почвы.

Основные принципы концепции «природовосстановления»

В Институте биологии Коми НЦ УрО РАН под руководством д.б.н. И.Б. Арчевой разработана концепция «природовосстановления», в которой основное внимание направлено на восстановление природных экосистем с характерным для них строением и выполняемыми «функциями», что обеспечивает сохранение, в конечном итоге, целостности биосферы (Арчева, 1998). Методологически концепция «природовосстановления» опирается на принцип системности и на представление о самовосстановлении экосистемы как о сукцессионном процессе. С этих позиций экосистема представляет систему взаимосвязанных трех основных компонентов – растительного сообщества, фаунистически-микробного комплекса, перерабатывающего растительные остатки, и почвы, т.е. продуктивного (биогенно-аккумулятивного) слоя. Все компоненты объединены в целостное единство – экосистему механизмом биологического оборота органического (растительного) вещества. Целью практических приемов системы «природовосстановления» является восстановление в полном объеме экосистемы, а не отдельных ее компонентов, традиционно только древесного яруса. Приемы «природовосстановления» должны соответствовать конкретным климатическим условиям, следует также принимать во внимание региональное направление экономики, т.е. традиционный тип хозяйствования в регионе.

Северные экосистемы отличаются высокой степенью уязвимости к техногенным воздействиям и низким самовосстановительным потенциалом, что связано не только с суровыми климатическими условиями в сочетании с наличием местами многолетнемерзлых пород, но и малой мощностью органо-аккумулятивного продуктивного слоя, в котором сосредоточены основная масса элементов питания и питающих корней растений, активная микробиота. Разрушение органо-аккумулятивного слоя и обнажение минеральной толщи, неблагоприятной

для самовосстановления биоты, обуславливает длительность процесса самовосстановления, в первую очередь, растительно-го сообщества. В связи с отмеченным, любое техногенное нарушение органогенного слоя неизбежно ведет к полному разрушению природной экосистемы. Длительное отсутствие растительности способствует быстрому развитию эрозии, еще более замедляющей самовосстановление растительно-почвенного покрова. Все это требует активного, модернизированного подхода к восстановлению нарушенных лесных экосистем.

На основе концепции «природовосстановления» для условий Севера разработана двухэтапная система практических приемов ускоренного (управляемого) «природовосстановления» (рис. 18). На первом, «интенсивном», этапе в короткие сроки (три-пять лет) с применением комплекса агротехнических мероприятий – внесение органических и минеральных удобрений, посев местных многолетних трав – формируется травянистая экосистема и соответствующий биогенно-аккумулятивный слой. Иначе говоря, резко сокращается особенно длительный (до трех-четырёх десятилетий) начальный этап самовосстановительной сукцессии. В этой системе заложены также принципы развития эколого-экономической концепции, связанной с развитием устойчивого природопользования.

На втором, «ассимиляционном», этапе агрорежим снимается, и в процессе самовосстановительной сукцессии сформированное на первом этапе травянистое сообщество постепенно замещается зональным типом растительного сообщества и затем в целом лесной экосистемой.



Рис. 18. Система комплекса практических приемов ускоренного «природовосстановления».

Разработанная концептуальная основа и практическая система ее осуществления направлены на ускоренное восстановление природных, в частности, лесных экосистем, обеспечивающих поддержание биосферного равновесия в условиях промышленного освоения природных ресурсов на Севере.

Ниже рассматриваются результаты многолетнего опыта восстановления лесной экосистемы.

Интенсивные приемы «природовосстановления»

Согласно данной схеме, в 1991 г. был заложен опыт на карьере №8 «б» вблизи участков, восстанавливаемых традиционными приемами. Интенсивные приемы «природовосстановления» включали поверхностное внесение торфа слоем 15 см и минеральных удобрений ($N_{60}P_{60}K_{60}$), а также посев смеси трав *Alopecurus pratensis* и *Poa pratensis* в дозе 20 кг семян/га при соотношении семян 1:1. В исходном песчаном субстрате содержание органического углерода составляло 0.2%, гидролизуемого азота – 0.1, оксидов фосфора – 6.7, калия – 2.0 мг/100 г в.с.п. Уход за посевом трав состоял в ежегодной подкормке комплексным минеральным удобрением из расчета 30 кг/га д.в. каждого элемента.

Через три года на участке сформировалось травянистое сообщество (ОПП 100%) с соответствующей луговоподобной почвой с характерными горизонтами дернины и гумусовым слоем. Далее уход был прекращен. Начался второй этап практической системы, в течение которого происходит внедрение древесных растений, замещение травянистой экосистемы на лесную. Древесные (мелколиственные) породы распространяются группами (парцеллами).

После интенсивных агротехнических приемов уже в первом 10-летии формируется ярус, образованный *Betula pubescens*, *Larix sibirica*, видами рода *Salix*, высотой 1.5–2.5 м, с сомкнутостью крон 0.1 (табл. 35). В травяном покрове (ОПП 100%) на 11-й год еще существенно участие высеянного *Alopecurus pratensis* с проективным покрытием 44%, при небольшом участии *Poa pratensis*. Вместе с этим отмечено внедрение в травяной покров 19 несаяных видов. Наибольшее проективное покрытие из них имеют *Festuca ovina*, *Chamaenerion angustifolium*, *Erigeron acris*, *Solidago virgaurea* (табл. 36). В составе напочвенного покрова присутствует значительное число синантропных видов (*Rumex acetosella*, *Chamaenerion angustifolium*, *Crepis tectorum*, *Tripleurospermum perforatum*, *Tussilago farfara*, *Equisetum arvense*), характерных для пер-

Таблица 35

**Видовой состав и структура формирующихся древесного яруса
и подлеска в опыте по системе ускоренного «природовосстановления»**

Вид	Количество, экз./100 м ²		Высота, м	
	2002 г.	2011 г.	2002 г.	2011 г.
Развивающийся древостой				
Первый полог				
<i>Betula pubescens</i> Ehrh.	2	13	2.5–3	4–6
<i>Larix sibirica</i> Ledeb.	9	15	1.3–1.5	4–5.5
<i>Salix caprea</i> L.	2	2	2.5	6
<i>Salix dasyclados</i> Wimm.	2	1	3	4
Второй полог				
<i>Betula pubescens</i> Ehrh.	–	16	–	2–3
<i>Larix sibirica</i> Ledeb.	–	6	–	2–3
Третий полог				
<i>Betula pubescens</i> Ehrh.	–	13	–	0.5–1.5
<i>Larix sibirica</i> Ledeb.	–	3	–	0.5–1.5
<i>Picea obovata</i> Ledeb.	–	1	–	0.5
Формирующийся подлесок				
<i>Betula nana</i> L.	1	1	0.7	1–1.5
<i>Ribes rubrum</i> L.	1	1	0.7	1
<i>Salix phylicifolia</i> L.	11	6	1.5	1–3
<i>Salix hastata</i> L.	1	–	0.9	–
<i>Salix lapponum</i> L.	1	–	1.3	–

вых стадий восстановления нарушенных земель. На участке начали развиваться мхи, зафиксировано пять видов. Преобладают виды рода *Polytrichum* (16%). Единично отмечены лишайники родов *Cladonia* и *Peltigera* (табл. 36). Таким образом, в первом 10-летию после начала опыта происходит активное замещение травянистой экосистемы на лесную с оформлением древесного яруса из быстрорастущих древесных пород. В травостое при значительном участии высеянных злаков активно внедряются несеянные виды сосудистых растений, а также формируется напочвенный покров, преимущественно из мхов.

Морфологическое строение новообразованной почвы на 11-й год опыта характеризует следующее описание. На поверхности рыхлый слой слаборазложившихся растительных остатков (ветошь), пронизанный редкими стебельками мхов:

A0A1	0–8(12) см	слой хорошо разложившихся растительных остатков с примесью минеральных частиц, влажный, обильно корни;
A1	8(12)–21 см	песчаный, темно-серый (гумусная окраска), бесструктурный слой, рыхлый, влажный, часто корни. Переход к следующему слою резкий по окраске;

III слой	21–29 см	песчаный, светло-желтоватый с белесыми и темно-охристыми пятнами, рыхлый, влажный, редко корни;
IV слой	29–45	песчаный, серо-желтоватый, более светлый, чем предыдущий слой, рыхлый, влажный, без корней.

В первом десятилетии формируется почвенный профиль с органомными (аккумулятивными) горизонтами, сохраняющими признаки одернованного слоя, характерного для луговых экосистем. Верхним биогенно-аккумулятивным слоям (A0A1, A1) присущи максимальная аккумуляция азота, гумуса, обменных оснований и слабокислая реакция (табл. 37).

На 20-й год оформилась вертикальная структура лесного сообщества (рис. 19). Первый полог развивающегося древостоя состоит из *Betula pubescens* и *Larix sibirica* с незначительной примесью древовидных ив (*Salix dasyclados*, *S. caprea*), высота деревьев 4–6 м, диаметр ствола – 4–6(9) см (табл. 35). Сомкнутость крон яруса возрастает до 0.4. С 2002 г. отмечено явное доминирование *Betula pubescens* в мелком подросте (высотой до 50 см), на 100 м² насчитывалось 40 экз., тогда как *Larix sibirica* – только пять. Преобладает *Betula pubescens* в сформировавшихся на 20-й год втором и третьем пологгах. Об активном развитии древесного яруса свидетельствует динамика нарастания количества опада древесных растений (табл. 38, 39). Таким образом, на 20-й год сообщество находится на этапе быстрорастущих мелколиственных древесных растений, характерном для самовосстановительной сукцессии в таежной зоне (Шенников, 1964). Следует отметить появление мелкого подроста *Picea obovata* и *Pinus sylvestris* по 1–3 экз./100 м².

В конце второго десятилетия опыта ОПП травяно-кустарничкового яруса составляет 85%, снижение проективного покрытия связано с влиянием затенения древесными растениями. Возрастает число видов лесных кустарничков, зафиксированы *Arctostaphylos uva-ursi*, *Empetrum hermaphroditum*, *Vaccinium uliginosum*, *Vaccinium myrtillus* (табл. 36). Из 24 видов отмеченных травянистых растений существенным проективным покрытием выделяются уже лесные виды: *Avenella flexuosa* (25%), *Solidago virgaurea* (10%). Значительно уменьшается покрытие высеянного лугового злака *Alopecurus pratensis* (25%). Характеризует формирование лесного сообщества на 19-й год достаточно заметное разнообразие мохообразных – 11 видов. Наибольшим проективным покрытием обладают *Sciuro-hypnum starkei* (30%), *Polytrichum juniperinum* (30) и типично лесной вид *Pleurozium schreberi* (8%). Высокое раз-

Таблица 36

**Видовой состав и структура травяно-кустарничкового яруса
и напочвенного покрова в опыте по системе
ускоренного «природовосстановления»**

Вид	Встречаемость, %			Проективное покрытие, %			Высо- та, см
	2002 г.	2006 г.	2011 г.	2002 г.	2006 г.	2011 г.	
Кустарнички							
<i>Arctostaphylos uva-ursi</i> (L.) Spreng.	5	7	5	>1	>1	>1	10
<i>Empetrum hermaphroditum</i> (Lange) Hagerup	5	7	10	>1	>1	>1	10
<i>Vaccinium uliginosum</i> L.	–	–	5	–	–	>1	10
<i>Vaccinium myrtillus</i> L.	–	–	5	–	–	>1	10
Травянистые растения							
<i>Agrostis tenuis</i> Sibth.	–	7	35	–	>1	5	20–50
<i>Avenella flexuosa</i> (L.) Drey.	–	–	70	–	–	25	20–50
<i>Alopecurus pratensis</i> L.	100	80	75	44	46	25	80
<i>Antennaria dioica</i> (L.) Gaertn.	–	–	5	–	–	<1	15
<i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth	10	7	–	>1	>1	–	60–80
<i>Calamagrostis lapponica</i> (Wahl.) Hartm.	–	–	15	–	–	1	50–60
<i>Carex brunnescens</i> (Pers.) Poir	5	–	5	>1	–	>1	25
<i>Chamaenerion angustifolium</i> (L.) Scop.	100	67	65	9	5	7	40–80
<i>Crepis tectorum</i> L.	5	7	–	>1	>1	–	20–25
<i>Deschampsia cespitosa</i> (L.) Beauv.	30	7	25	2	1	7	40–80
<i>Epilobium palustre</i> L.	10	7	–	>1	>1	–	20
<i>Equisetum arvense</i> L.	10	7	15	>1	>1	>1	20
<i>Equisetum sylvaticum</i> L.	5	–	–	>1	–	–	25
<i>Euphrasia frigida</i> Pugsl.	–	–	5	–	–	>1	15
<i>Erigeron acris</i> L.	70	40	40	4	>1	1	35–45
<i>Festuca ovina</i> L.	100	67	40	23	18	16	15–30
<i>Festuca rubra</i> L.	–	7	15	–	>1	1	40–45
<i>Hieracium umbellatum</i> L.	40	33	25	1	1	1	40
<i>Hieracium vulgatum</i> L.	10	20	10	>1	1	>1	40
<i>Omalotheca sylvatica</i> (L.) Sch.Bip.	60	33	70	2	1	2	10–30
<i>Phalaroides arundinacea</i> (L.) Rausch.	–	–	5	–	–	>1	50
<i>Poa pratensis</i> L.	30	20	30	1	4	5	60
<i>Rumex acetosella</i> L.	10	7	25	>1	>1	>1	20–25
<i>Solidago virgaurea</i> L.	80	60	80	3	3	10	10–45
<i>Taraxacum officinale</i> Wigg.	40	20	5	1	>1	>1	15–20
<i>Tripleurospermum perforatum</i> (Merat.) M.Lainz	5	7	–	>1	>1	–	15
<i>Tussilago farfara</i> L.	20	7	5	>1	>1	>1	10–15
<i>Trientalis europaea</i> L.	–	–	5	–	–	>1	5–10
<i>Lycopodium annotinum</i> L.	–	–	5	–	–	>1	10
<i>Lathyrus pratensis</i> L.	–	–	5	–	–	>1	30–40
<i>Orthilia secunda</i> (L.) House	–	–	5	–	–	>1	15

Окончание табл. 36

Вид	Встречаемость, %			Проективное покрытие, %			Высо-та, см
	2002 г.	2006 г.	2011 г.	2002 г.	2006 г.	2011 г.	
Мохообразные							
<i>Brachythecium campestre</i> (Bruch) B. S. G.	–	–	20	–	–	5	3–5
<i>Brachythecium reflexum</i> (Starke) Schimp.	–	–	10	–	–	5	3–5
<i>Brachythecium salebrasum</i> (Wed et Mohr) Bryol.	–	–	20	–	–	5	3–5
<i>Brachythecium</i> sp.	20	20	–	1	15	–	3–5
<i>Ceratodon purpureus</i> (Hedw.) Brid.	20	20	5	>1	>1	>1	2–3
<i>Dicranum polysetum</i> Sw.	–	–	10	–	–	1	3–4
<i>Plagiothecium denticulatum</i> (Hedw.) B. S. G.	–	–	10	–	–	1	1–2
<i>Pleurozium schreberi</i> (Brid.) Mitt.	–	20	80	–	1	10	3–5
<i>Polytrichum commune</i> Hedw.	20	20	20	2	1	2	5–7
<i>Polytrichum juniperinum</i> Hedw.	60	40	90	11	11	30	5–7
<i>Polytrichum piliferum</i> Hedw.	30	33	15	5	5	3	3–5
<i>Sciurohypnum oedipodium</i> (Mitt.) Ignatov et Huttunen.	–	–	10	–	–	1	3
<i>Sciuro-hypnum starkei</i> (Brid.) Ignatov et Huttunen	–	–	65	–	–	30	3–5
Лишайники							
<i>Cladonia anomaea</i> (Ach.) Ahti & P. James	–	–	4	–	–	>1	1–3
<i>Cladonia arbuscula</i> (Wallr.) Flot.	–	7	10	–	>1	>1	1–3
<i>Cladonia borealis</i> Stenroos	–	–	4	–	–	>1	1–2
<i>Cladonia botrytes</i> (Hag.) Willd.	–	–	4	–	–	>1	1
<i>Cladonia carneola</i> (Fr.) Fr.	–	7	–	–	>1	–	1–2
<i>Cladonia cervicornis</i> (Ach.) Flot. ssp. verticillata (Hoffm.)	–	–	4	–	–	>1	1–2
<i>Cladonia chlorophaea</i> (Florke ex Sommerf.) Spreng.	–	–	4	–	–	>1	1–2
<i>Cladonia cornuta</i> (L.) Hoffm.	–	7	20	–	>1	>1	1–4
<i>Cladonia crispata</i> (Ach.) Flot.	–	–	4	–	–	>1	1–2
<i>Cladonia deformis</i> (L.) Hoffm.	–	7	–	–	>1	>1	1–3
<i>Cladonia fimbriata</i> (L.) Fr.	–	7	10	–	>1	>1	1–3
<i>Cladonia gracilis</i> (L.) Willd.	–	7	20	–	>1	>1	1–3
<i>Cladonia phylophora</i> Hoffm.	–	–	20	–	–	>1	1–2
<i>Cladonia pleurota</i> (Floerke) Schaer.	–	–	4	–	–	>1	1–2
<i>Cladonia rangiferina</i> (L.) Web.	–	7	20	–	>1	>1	1–3
<i>Cladonia subulata</i> Weber.	–	–	4	–	–	>1	1–2
<i>Cladonia</i> sp.	10	7	–	>1	>1	–	1
<i>Peltigera didactyla</i> (With.) Laundon	–	–	10	–	–	>1	1–2
<i>Peltigera leucophlebia</i> (Nyl.) Gyeln.	–	–	4	–	–	>1	1–2
<i>Peltigera rufescens</i> (Weis.) Humb.	–	–	4	–	–	>1	1–2
<i>Peltigera</i> sp.	10	7	–	>1	–	>1	1–2

Таблица 37

**Агрохимические показатели новообразованной почвы
в опыте по системе ускоренного «природовосстановления»**

Горизонт, глубина отбора образца, см	pH _{вод.}	С, %	N _{гидр.}	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺	
			мг/100 г в.с.п.			ммоль/100 г в.с.п.		
На 11-й год (2002 г.)								
AOA1 0–8(12)	5.4	5.0	2.9	8.5	7.9	7.1	1.1	
A1 8(12)–21	5.7	3.3	1.6	10.1	4.3	5.9	0.8	
III слой 21–29	5.7	1.6	0.8	9.9	3.8	1.7	0.5	
IV слой 29–45	5.6	0.2	0.8	10.0	2.5	1.2	0.4	
На 20-й год (2011 г.)								
В группе деревьев								
A0 0–5	5.4	6.7	11.5	10.0	29.0	17.7	3.6	
A1 5–15	5.2	4.9	9.0	9.9	9.0	10.0	1.6	
A0 _{погреб.} * 15–21	5.0	7.2*	5.9	8.3	8.9	14.8	2.1	
BC 21–35	5.3	0.2	7.8	14.0	8.6	2.3	0.6	
Открытое место «окно»								
A0 0–2(4)	5.3	5.7	9.5	13.3	36.0	10.6	2.2	
A _г 2(4)–13.5(14)	4.9	5.4	5.9	11.1	11.4	10.1	1.6	
A0 _{погреб.} 13.5(14)–21	4.9	14.8*	5.5	5.3	14.9	17.5	2.2	
BC 21–24	4.8	0.3	2.4	12.8	5.5	2.5	0.6	
BC' 24–35	5.1	0.2	1.1	13.2	3.8	2.4	0.6	

* погребенные органические остатки (торф).



Рис. 19. Опытный участок с применением комплекса приемов ускоренного «природовосстановления», 20-й год опыта.

Таблица 38

**Динамика количества опада по годам
в опыте по системе ускоренного «природовосстановления»
(воздушно-сухая масса, г/м²)**

Период сбора опада	Количество опада
Июнь 2002 г. – сентябрь 2002 г.	8.5±1.7
Октябрь 2002 – май 2003 г.	27.5±2.0
Итого за год	36.0
Июнь 2007 г. – сентябрь 2007 г.	15.0±6.5
Октябрь 2007 г. – май 2008 г.	52.2±8.6
Итого за год	67.2
Июнь 2008 г. – сентябрь 2008 г.	13.6±5.4
Октябрь 2008 г. – май 2009 г.	53.05±10.2
Итого за год	66.65
Июнь 2009 г. – сентябрь 2009 г.	11.9±2.8
Октябрь 2009 г. – май 2010 г.	73.3±15.3
Итого за год	85.2
Июнь 2010 г. – сентябрь 2010 г.	14.7±3.2
Октябрь 2010 г. – май 2011 г.	106.01±31.2
Итого за год	110.71

нообразии отмечено в группе лишайников – 17 видов, представленной в основном видами рода *Cladonia*. Таким образом, в конце второго 10-летия с начала опыта сформировалось лесное сообщество, сеяные травянистые растения первого, «интенсивного», этапа закономерно сменяют лесные виды, а также возрастает обилие мохообразных и лишайников.

На 20-й год сделаны прикопки на открытом участке и в группе деревьев.

Прикопка № 1 выполнена в группе деревьев (*Betula pubescens*, *Larix sibirica*). В напочвенном покрове (ОПП 75%) отмечены травянистые растения (*Avenella flexuosa*, *Solidago virgaurea*, *Alopecurus pratensis*, *Chamaenerion angustifolium*, *Orthilia secunda*) и мхи (*Sciuro-hypnum starkei*, *Pleurozium schreberi*). Моховой покров хорошо развит (ОПП –60%), практически сформирована моховая подстилка:

А0

0–5 см

рыхлый слой моховой подстилки, в верхней части слаборазложившиеся, в нижней – более разложившиеся растительные остатки с примесью песка, обильно корни;

A1	5–21 см	песчаный, серо-черный, рыхлый, есть включения слабо- и хорошо разложившихся растительных остатков внесенного на интенсивном этапе торфа, много корней, граница перехода к следующему слою резкая по цвету;
BC	21–35 см	песок серо-желтоватый с белесыми пятнами, бесструктурный, редко корни, влажный.

Прикопка № 2 сделана на открытом месте. В травяном покрове (ОПП 100%) обильны *Alopecurus pratensis*, *Solidago virgaurea*, *Omalotheca sylvatica*. На поверхности слой ветоши толщиной 2 см. На ветоши развиваются мхи рода *Brachythecium* и *Sciuro-hyphnum starkei*:

A0	0–2(4) см	рыхлый слой слабо-среднеразложившихся растительных остатков, темно-серый, в нижней части с примесью песка, обильно корни;
A1	2(4)–21 см	песчаный, темно-серый до черного, бесструктурный, влажный, обильно корни, есть включения разложившихся остатков торфа, внесенного на интенсивном этапе, масса дождевых червей, граница перехода к следующему слою резкая по цвету;
BC	21–36 см	песчаный, серо-желтоватый с белесыми пятнами, влажный, в верхней части еще встречаются корни.

Приведенные в табл. 37 агрохимические данные рассмотренных почв свидетельствуют о сформированных на 20-й год биогенно-аккумулятивных слоях (подстилка и гумусовые горизонты), выделяющихся высоким содержанием органического углерода, азота, обменных оснований и других элементов биогенов. В составе гумуса биогенно-аккумулятивного слоя преобладают гуминовые вещества (табл. 40). Под аккумулятивным слоем при резком снижении органического углерода в его составе отмечено существенное увеличение содержания фракции фульвокислот 1а, что характерно для субстратов (почв) лесных экосистем. Именно с этой фракцией гумусовых веществ связывается формирование оподзоленного горизонта традиционно рассматриваемого профиля лесной (подзолистой) почвы.

Итак, запускаемый на «интенсивном» этапе под воздействием агротехнических приемов (внесения органических удобрений – торфа) биологический оборот органического вещества способствует к 20-му году опыта оформлению лесной экосистемы как единства составляющих ее основных компонен-

Таблица 39
**Фракционный состав опада в опыте по системе «ускоренного природовосстановления»
 (воздушно-сухая масса, г/м²)**

Фракция	Период сбора опада											
	Октябрь 2008 г. – май 2009 г.		Июнь 2009 г. – сентябрь 2009 г.		Октябрь 2009 г. – май 2010 г.		Июнь 2010 г. – сентябрь 2010 г.		Октябрь 2010 г. – май 2011 г.			
	Вес, г/м ²	Доля, %	Вес, г/м ²	Доля, %	Вес, г/м ²	Доля, %	Вес, г/м ²	Доля, %	Вес, г/м ²	Доля, %	Вес, г/м ²	Доля, %
Ветки	0.45	1	0.498	4	0.604	1	0.756	5	1.96	2		
Листья <i>Betula pubescens</i>	30.68	58	2.263	19	35.88	49	1.028	7	68.59	65		
Травянистые растения	2.17	4	0.169	1	3.664	5	0.412	3	2.80	3		
Листья видов рода <i>Salix</i>	2.48	5	4.421	37	1.972	3	0.780	5	2.95	3		
Кора	0.43	1	—	—	0.14	—	0.132	1	0.37	—		
Хвоя <i>Larix sibirica</i>	8.46	16	1.046	9	21.352	29	9.792	67	20.50	19		
Труха	8.38	16	3.54	30	9.736	13	1.848	13	8.72	8		
Соцветия	—	—	—	—	—	—	—	—	0.11	—		

Примечание: «—» — не отмечено.

Таблица 40
**Фракционно-групповой состав гумуса новообразованной почвы на 18-й год опыта
 по системе ускоренного «природовосстановления» (% к валовому)**

Горизонт, глубина, см	C _{орг, ват.} , %	Гуминовые кислоты						Фульвокислоты						Нерастворимый остаток	Стк/Сфк		
		1		2		3		1a		1		2				3	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2			Σ	Σ
A1	3–13	4.2	20.94	11.76	20.7	53.4	3.18	14.7	6.24	9.88	34.0	12.6	1.57				
A1'	13–23	2.4	10.98	14.22	14.4	39.6	4.88	12.6	6.5	6.1	30.08	30.32	1.32				
	23–28	0.2	9.52	1.91	4.76	16.19	28.6	9.5	17.17	7.14	62.41	21.4	0.26				
	28–45	0.1	7.7	0.76	4.61	13.07	15.38	2.32	22.29	1.51	41.5	45.43	0.31				

тов – растительного сообщества (точнее, биотического комплекса) и почвы. При восстановлении биологического оборота органического (растительного вещества) за счет уже нового формирующегося травянистого напочвенного покрова и опад древесных растений начинается активное развитие (преобразование) почвы, которое проявляется в формировании биогенно-органно-аккумулятивного слоя (почвообразование), строение (тип) которого определяется типом растительного сообщества. Эти свойства формируются в процессе трансформации растительных остатков – гумусообразования, основного почвообразовательного процесса (Пономарева, Плотникова, 1980). Именно этот слой определяет значение почвы как системной структуры, обладающей способностью удерживать и аккумулировать элементы питания растений, создающей стабильные условия для самовосстановления биотической компоненты и экосистемы в целом.

Обобщение результатов многолетнего опыта по этапам развития растительного сообщества, его преобразования, поступления на осваиваемый субстрат изменяющегося по составу и количеству растительного вещества позволяет заключить, что восстановление компонентов природной экосистемы является сложным процессом, функционально объединяющим биоту и субстратную среду ее обитания. Почва при этом развивается при накоплении в техногенном субстрате некоторой «критической» массы растительного материала для «запуска» биологического оборота веществ, сопровождающегося аккумуляцией гумуса.

Следует еще раз отметить, что в условиях Севера процесс самовосстановительной сукцессии занимает длительный период времени. Для ускорения (управления) самовосстановительного процесса на посттехногенных пустошах необходим предварительный комплекс агроприемов – внесение органических и минеральных удобрений, посев многолетних трав, т.е. «интенсивный» этап. Накопление органического вещества (растительные остатки многолетних трав) в субстрате, его трансформация (гумусообразование) с помощью фаунистически-микробного биокомплекса, аккумуляция и последующее использование элементов-биогенов растениями обуславливают дальнейшее активное развитие лесной экосистемы, усложнение состава и структуры составляющих экосистему компонентов.

Проведенное исследование достаточно убедительно показало эффективность применения комплекса агроприемов («интенсивный» этап) с целью ускорения восстановительного процесса лесной экосистемы. Показано, что уже в первом 10-ле-

тии достигается наиболее продвинутая стадия восстановительной сукцессии – оформление травянистого сообщества и его переход в лесное сообщество с формированием насаждения быстрорастущих древесных пород, под пологом которых начинают возобновляться хвойные древесные растения. Смена травянистого сообщества и соответствующей ему почвы в ходе самовосстановительной сукцессии в таежной зоне на насаждение быстрорастущих древесных пород закономерна (Шенников, 1964).

Ускорение формирования лесной экосистемы по предложенной нами системе «природовосстановления» становится более очевидным при сравнении с близрасположенным участком, оставленным на самовосстановление. На 28-ой год на этом участке ОПП растительного покрова оставалось менее 1%, древесные растения не отмечены, активно развивается эрозия (овраг глубиной до 3 м).

Оптимизация приемов «природовосстановления»

Как отмечено выше, подготовительный, «интенсивный», этап обеспечивает благоприятные субстратные условия для ускорения самовосстановления древесного яруса, замещения травянистой экосистемы на лесную. Однако восстановление хвойных насаждений происходит медленно, через стадию сообществ лиственных (береза, осина) пород. С целью разработки дальнейшего ускорения восстановления лесной экосистемы на втором этапе схемы «природовосстановления» нами предложен комплекс приемов, оптимизирующий процесс восстановления хвойных растений в древесном ярусе лесных экосистем на севере таежной зоны. Он заключается в посадке хвойных древесных пород одновременно с комплексом агротехнических приемов на первой («интенсивной») стадии системы «природовосстановления».

Опыты были проведены в подзоне крайнесеверной тайги (Усинский р-н Республики Коми) на территории песчаного карьера и участках песчаных отсыпок буровых скважин. В опыте № 1 испытывали традиционный посадочный материал – двухлетние сеянцы *Pinus sylvestris* с открытой корневой системой. Варианты включали посадку сеянцев как без проведения дополнительных приемов улучшения техногенного субстрата, так и с улучшением субстрата и уходом за формирующейся экосистемой в течение пяти лет (табл. 41).

В опыте № 2 использовали крупномерный посадочный материал – дички высотой 43–74 см, выкопанные с комом зем-

Таблица 41

Схема опыта № 1 с использованием двулетних семян *Pinus sylvestris*

Вариант, №	Посадочный материал, густота посадки, шт./га	Агротехнические приемы улучшения субстрата при закладке опыта	Система ухода		Дополнение посадки
			Весенние подкормки	Осенние подкормки	
1	Сеянцы <i>Pinus sylvestris</i> (5 тыс. шт./га)	–	–	–	Весной на второй и третий годы
2	Сеянцы <i>Pinus sylvestris</i> (5 тыс. шт./га)	БИАК** – 5 т/га, N45P45K45, травосмесь* (20 кг/га)	На второй-пятый годы (N45P45K45)	На второй (N45) и третий (N45P45K45) годы	Весной на второй и третий годы
3	Сеянцы <i>Pinus sylvestris</i> (5 тыс. шт./га)	N45P45K45, травосмесь* (20 кг/га)	На второй- пятый годы (N45P45K45)	На второй (N45) и третий (N45P45K45) годы	Весной на второй и третий годы

* Состав травосмеси: *Poa pratensis* L., *Festuca rubra* L., *Festuca pratensis* Huds., *Bromopsis inermis* (Leys.) Holub, *Phleum pratense* L. в равных соотношениях.

** БИАК – органическое удобрение – продукт биотехнологической переработки гидролизного лигнина.

Таблица 42

Схема опыта № 2 с использованием крупномерных саженцев

Вариант, №	Посадочный материал, высота, см	Агротехнические приемы улучшения субстрата при закладке опыта	Система ухода	
			Весенние подкормки	Восенние подкормки
1	Дички <i>Pinus sylvestris</i> (2500 шт./га), 50	Торф – 0.5 т/га, N60P60K60, травосмесь* (20 кг/га)	На второй (N40), третий-пятый (N45P45K45) годы	На второй (N40), третий-пятый (N45P45K45) годы
2	Дички <i>Larix sibirica</i> (2500 шт./га), 74	Торф – 0.5 т/га, N60P60K60, травосмесь (20 кг/га)	На второй (N40), третий-пятый (N45P45K45) годы	На второй (N40), третий-пятый (N45P45K45) годы
3	Дички <i>Betula pubescens</i> (2500 шт./га), 43	Торф – 0.5 т/га, N60P60K60, травосмесь (20 кг/га)	На второй (N40), третий-пятый (N45P45K45) годы	На второй (N40), третий-пятый (N45P45K45) годы

* Состав травосмеси: *Poa pratensis* L., *Festuca rubra* L., *Festuca pratensis* Huds., *Bromopsis inermis* (Leys.) Holub, *Phleum pratense* L., *Trifolium pratense* L. в равных соотношениях.

ли 30×30 см из близ расположенного лесного сообщества. Варианты включали приемы улучшения техногенного субстрата и ухода за формирующейся экосистемой в течение пяти лет (табл. 42).

Наблюдения на опытах вели в течение восьми лет. В опыте № 1 вариант, включавший только посадку древесных растений, характеризовался отсутствием травянистого покрова. В вариантах 2 и 3 агротехнические приемы улучшения субстрата обеспечили формирование сомкнутого травянистого покрова высотой 50–80 см. Высота растений *Pinus sylvestris* в вариантах опыта к концу наблюдений составляла 27–30 см (рис. 20). Видимо, с угнетением быстрорастущими травами связана наиболее низкая сохранность *Pinus sylvestris* в вариантах 2 и 3 с посевом трав (на восьмой год опыта около 20%) по сравнению с вариантом № 1 без посева (около 40%).

В опыте № 2 с посадкой дичков приживаемость высаженных растений была высокой. К концу наблюдений (восьмой год опыта) сохранность *Pinus sylvestris* – 94% (рис. 21), *Larix sibirica* – 83, *Betula pubescens* – 100% (рис. 22). Темпы роста – удовлетворительные. Так, годичный прирост в высоту *Pinus sylvestris* увеличивался с третьего года после посадки, достигнув на пятый год более 20 см, в последующем оставался достаточно стабильным (рис. 24). Прирост в высоту у *Larix sibirica* возрос на пятый год после посадки, а в дальнейшем постепенно увеличился и к концу наблюдений достиг более 20 см (рис. 23). У *Betula pubescens* прирост в высоту составлял около 15–20 см, при этом снижения темпов роста в первые годы после посадки не наблюдалось, по-видимому, в связи с экологической пластичностью данного вида. К концу наблюдений средняя высота *Pinus sylvestris*, *Larix sibirica*, *Betula pubescens* составляла около 1.5 м (рис. 24).

Таким образом, результаты опытов показали, что в отличие от посадки двухлетних сеянцев, обнаруживших низкие сохранность и темпы роста, посадка крупномерного посадочного

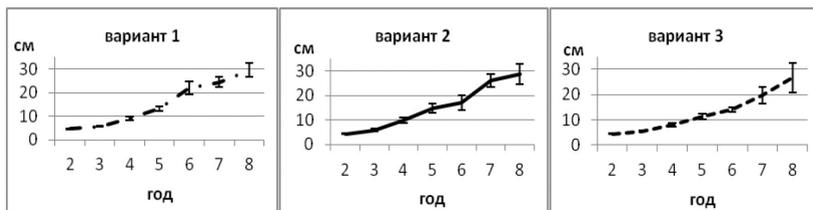


Рис. 20. Динамика высоты *Pinus sylvestris* в вариантах опыта № 1.



Рис. 21. Опытный участок с применением оптимизированной технологии восстановления лесных экосистем, посадочный материал – дички сосны, восьмой год опыта.



Рис. 22. Опытный участок с применением оптимизированной технологии восстановления лесных экосистем, посадочный материал – дички березы, восьмой год опыта.

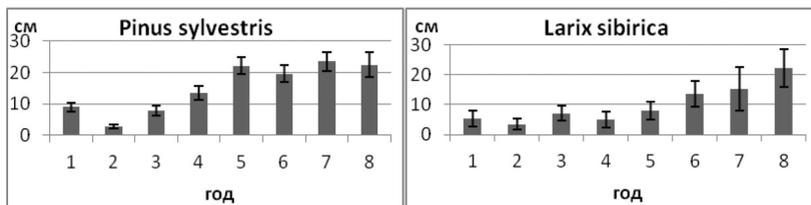


Рис. 23. Динамика прироста в высоту деревьев в вариантах опыта № 2.

материала совместно с проведением «интенсивных» приемов улучшения субстрата достаточно эффективна.

Нижние ярусы в вариантах опытов № 1 и 2, включавших внесение удобрений и посев трав, активно развиваются. Если на третий год после посева ОПП травянистого яруса составляло 30%, то к четвертому-пятому – увеличилось до 70–75%. В травянистом ярусе из высеянных трав практически выпадают *Festuca pratensis*, требовательная к влажности почвы, и *Trifolium pratense*. Остались корневищные злаки *Bromopsis inermis*, *Poa pratensis* и корневищно-рыхлокустовая *Festuca rubra*. Причем последний вид в связи с малой требовательностью к богатству почв и увлажнению имеет наибольшее из высеянных трав проективное покрытие. В травянистый покров внедряются несеянные виды растений, из которых превалирует *Festuca ovina* – растение, характерное для сухих сосновых боров. Зафиксированы виды, обычные при зарастании антропогенно нарушенных земель: *Chamaenerion angustifolium*, *Equisetum arvense*. Внедряются виды, характерные для лесных и луговых экосистем, – *Solidago virgaurea*, *Deschampsia cespitosa*, *Avenella flexuosa* (L.) Drej., однако их участие мало. В вариантах опыта № 2 отмечены лесные кустарнички (*Empetrum hermaphroditum*, *Vaccinium vitis-idaea*), привнесенные вместе с комом земли. Начинает формироваться моховой покров, представленный пионерными видами (*Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid, *Polytrichum piliferum* Hedw.). К восьмому году опыта наблюдается угнетение высеянных трав

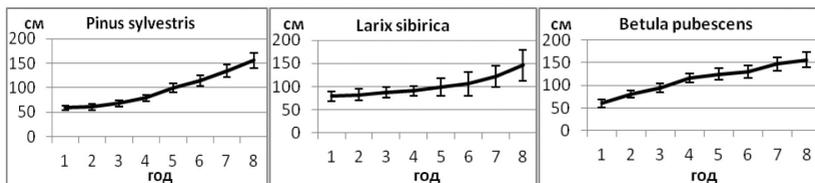


Рис. 24. Динамика высоты деревьев в вариантах опыта № 2.

(ОПП – 40%) при активизации роста мохового покрова. ОПП формирующегося мохового яруса достигает 50%.

В соответствии с развитием травянисто-кустарничкового покрова и накоплением растительной морт-массы происходит изменение в субстрате. На его поверхности отмечен рыхлый слой отмерших растительных остатков (подстилка), под которым на четвертый-пятый годы выделяется слабо уплотненный массой корней растений слой до 3(5) см (одернованный). При замедленном разложении отмершей растительной массы в условиях Севера аккумуляция органического углерода в субстрате идет медленно, что согласуется с данными наблюдений других исследователей за преобразованием техногенных субстратов (Абакумов, 2008). Следует отметить положительные изменения в содержании элементов-биогенов (рис. 25), что связано с начавшимся развитием биологического оборота

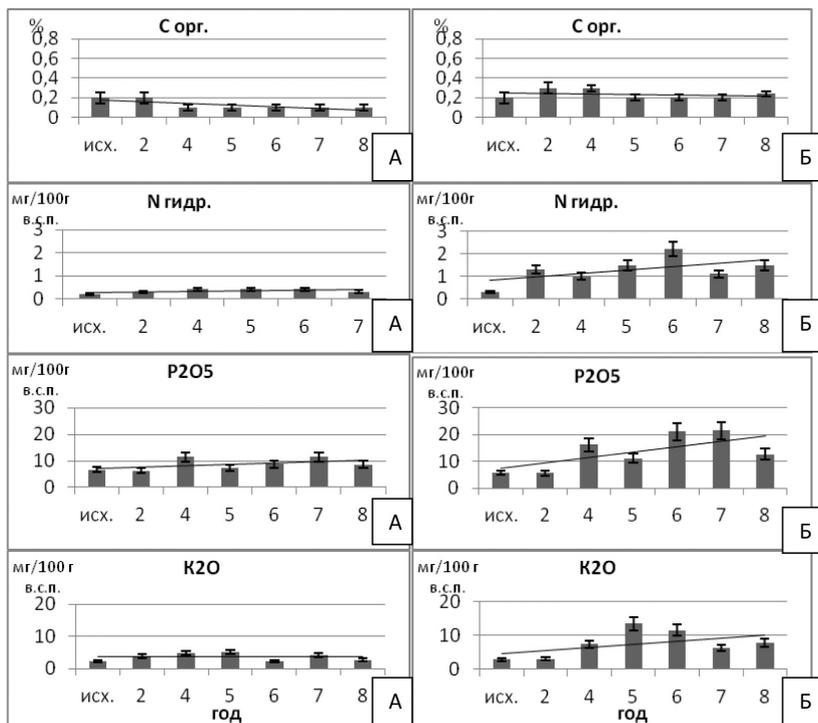


Рис. 25. Динамика агрохимических показателей в верхнем пятисантиметровом слое субстрата в контроле (А) и в варианте с посадкой дичков *Pinus sibirica* (Б).

органического вещества. Техногенный субстрат контрольного участка (без проведения каких-либо агротехнических приемов) лишен растительного покрова, и его преобразования не отмечено.

Как показали результаты рассмотренного опыта, сочетание интенсивных агроприемов с использованием качественного посадочного материала – крупномерных саженцев *Pinus sylvestris* с комом земли – способствует высокой приживаемости хвойных растений, их активному росту при одновременном развитии травянистого покрова, что обеспечивает синхронное преобразование техногенного субстрата и формирование почвы как компонента лесной экосистемы. Почва развивается с запаздыванием по сравнению с растительным сообществом, она морфологически и химически оформляется только после накопления некоторой «критической» величины растительной массы в субстрате и продукта ее трансформации – гумуса.

Распространенное мнение о необходимости уничтожения травяного покрова при посадке саженцев лесных культур для улучшения роста древесных растений (конкуренция за элементы питания) не является обоснованным особенно при применении крупномерного посадочного материала.

Проведенный опыт позволяет отметить возможность уже на первом («интенсивном») этапе схемы «природовосстановления» ускорения формирования лесной экосистемы. Обобщение результатов, которые будут получены при продолжении наблюдений на опытных участках, позволит разработать рекомендации по оптимизации приемов восстановления.

Итак, применение двухэтапной системы «природовосстановления» обеспечивает активизацию процесса самовосстановления лесной экосистемы в крайнесеверной тайге (на границе распространения леса). Важно отметить, что концепция «природовосстановления» и ее практическое воплощение расширяют традиционное понимание рекультивации, внося в него не только географический аспект, но и представление о взаимоотношений функциональной связи между компонентами экосистемы, объединенными механизмом биологического оборота органического вещества.

С учетом сложной современной экологической ситуации не только на Севере, но в широком спектре региональных условий, требуется кардинальное изменение взгляда на рекультивацию. Традиционно термин «рекультивация» понимается в основном как возврат в повторное хозяйственное использование земельного ресурса. Однако реалии времени требуют

расширения традиционного понимания «рекультивации», в связи с чем становится понятен глубокий смысл концепции «природовосстановления», опирающийся на системный подход. На основе разработанной концепции предложен комплекс приемов ускоренного восстановления на нарушенных территориях природных экосистем, выполняющих важные биосферные функции. Надо отметить, что при восстановлении нефтезагрязненных земель на «интенсивном» этапе требуется применение приемов очистки с применением микробиологических препаратов и последующим использованием комплекса агротехнических приемов. Прогрессирующее развитие экономики, т.е. интенсивное «природопользование» должно сопровождаться полномасштабным ускоренным (управляемым) восстановлением на нарушенных территориях зональных природных типов экосистем, адекватным масштабам разрушения. При отсутствии адекватности в системе «человек–природа», «разрушение–восстановление» создаются экологически кризисные ситуации (Экологические принципы..., 2010). Эту ситуацию иллюстрирует рис. 26 (экологический треугольник).



Рис. 26. Экологический треугольник.

Рациональное природопользование при разработке любого планируемого проекта, связанного с разрушением природных экосистем, должно сопровождаться учетом затрат на восстановление. Иными словами, экологическая составляющая любого техногенного воздействия должна иметь экономическое обоснование.

ЗАКЛУЧЕНИЕ

Во второй половине XX в. на Севере активизировалось промышленное освоение природных ресурсов. Так, например, на северо-востоке европейской части России (Республика Коми) активно ведется добыча нефти, газа, угля, бокситов и других, в том числе биологических, ресурсов. Увеличение площади нарушенных природных экосистем, характеризующихся высокой степенью уязвимости к техногенным воздействиям и низким самовосстановительным потенциалом, способствовало осознанию экологически кризисного состояния природы. Воздействие человека превысило несущую емкость природных экосистем, нарушено биологическое равновесие биосферы как саморегулирующейся системы (Горшков, 1987, 1995), что грозит катастрофическими экологическими последствиями. Г.В. Добровольский в связи с этим отмечал: «В эпоху продолжающегося натиска на природу исключительно важно понять и признать незаменимость естественной среды обитания человечества – биосферы и ее основных компонентов ...» (Добровольский, Никитин, 2000, с. 5).

В соответствии с отмеченным, становилось необходимым усиление развития теоретических и практических разработок природоохранной и природовосстановительной деятельности (Крючков 1996; Добровольский, Никитин 2000). Для решения экологических проблем, направленных на поддержание устойчивого природопользования, важно создание новых методологических подходов, опирающихся на обобщение результатов изучения функционирования природных экосистем, процесса самовосстановительной сукцессии разрушенных экосистем.

Для разработки системы практических приемов восстановления разрушенных природных экосистем необходимо изучение самовосстановительной сукцессии, позволяющее выявить критические (узловые) моменты, затрудняющие процесс самовосстановления с учетом конкретных природно-климатических условий.

В настоящей работе показана связь детальных исследований самовосстановления естественных природных экосистем

через функционально взаимообусловленное восстановление их компонентов. Эти исследования дают материал для обоснования общетеоретических положений, а также разработки системы практических приемов ускоренного (управляемого) процесса восстановления разрушенных экосистем, соответствующих типу естественных экосистем, с целью сохранения устойчивости биосферы в целом.

В книге обобщены результаты многолетних комплексных исследований, проводимых коллективом авторов на участке стационарных наблюдений, расположенном в 17 км к юго-западу от г. Сыктывкар в средней подзоне таежной зоны. Стационарные исследования позволяют проследить развитие изучаемых объектов во временной последовательности. Нами рассматриваются два варианта самовосстановительной сукцессии после реконструкции автотрассы Сыктывкар–Киров: на техногенной породе, оставленной полосой 20 – 30 м шириной вдоль автотрассы (возможно, с целью расширения трассы), и по другую сторону дороги (в одних и тех же условиях) после хозяйственной выборочной рубки (без коренного разрушения почвенно-растительного покрова).

А.П. Шенников (1964) выделял в развитии самовосстановительной сукцессии в таежной зоне последовательные этапы: многолетнее травянистое сообщество, сообщество «временных» лиственных древесных пород (береза, осина и др.), сменяющееся этапом смешанного сообщества (лиственных пород и ели), и далее – елового леса зонального типа. Таким образом, самовосстановительная сукцессия представляет собой сложную систему развивающихся взаимообусловленных последовательных стадий (этапов) формирования лесной экосистемы, соответствующей конкретным природно-климатическим условиям.

Методологически наши исследования опираются на принцип системности. С его позиций любая экосистема (биогеоценоз) является целостным образованием двух функционально взаимосвязанных компонентов (структур): биоты (растительное сообщество и микробный комплекс, трансформирующий отмирающую фитомассу) и освоенного биотой субстрата (почвы). Механизмом, объединяющим компоненты в целостное образование или систему, является биологический оборот органического (растительного) вещества. Новый теоретический подход позволил рассматривать почву как результат комплексного природно-эволюционного развития экосистемы. Была выявлена главная роль типа растительного сообщества в формировании типа почвы, его преобразования в соответ-

ствии с изменением характеристик растительного сообщества в ходе самовосстановительной сукцессии. Системный подход к пониманию классического представления о пяти равнозначных факторах почвообразования позволил выделить в качестве определяющего биологический фактор, тогда как остальные следует считать природно-климатическими условиями.

Наши наблюдения на техногенном субстрате (ПП 1, вариант 1) были начаты на этапе функционирующей многолетней травянистой экосистемы, характеризующейся разнотравно-злаковым составом растительного сообщества и преобразованием субстрата по типу луговой почвы. Биогенно-аккумулятивный слой, еще небольшой толщины, морфологически разделен на дернину (гор. Адерн.) и гумусовый горизонт (А1). Под этим слоем общей толщиной около 10 см следует неизменный техногенный субстрат. Дальнейшие наблюдения показали переход травянистой экосистемы в этап ее замещения сообществом преимущественно быстрорастущих листовых древесных растений. Их развитие происходит парцеллами, в связи с чем формируется неоднородность (пестрота) почвенного покрова, проявляющаяся как характерная черта спелых лесных экосистем. Дальнейшие наблюдения (на 12–15-й годы) показали, что в соответствии с качественно-количественным изменением состава многолетнего травянистого сообщества на лесное, а также темпами разложения растительных остатков, преобразуется луговоподобная почва. Происходит разрушение биогенно-аккумулятивного слоя (дернины и гумусового горизонта) и его замещение лесной, малой толщины листово-травянистой подстилкой, под которой следует техногенный субстрат. Преобразование биогенно-аккумулятивного слоя при смене растительного сообщества в ходе самовосстановительной сукцессии отмечают исследователи и в других регионах (Махонина, 1976, 2003; Голеусов, Лисецкий, 2009).

На участке после выборочной рубки (ПП 2, 3) (вариант 2) произошла смена хвойных пород на быстрорастущие листовые (береза, осина, некоторые др.). В соответствии с качественно-количественным изменением состава фитомассы, типом биологического оборота органического (растительного) вещества также наблюдаются изменения в морфологическом строении биогенно-аккумулятивного слоя почвы. На стадии спелого листового леса (более 100 лет) отмечены листово-травянистая подстилка и гумусовый горизонт до 5 см толщиной. Под этим слоем в минеральной части профиля сохранялись подзолистый горизонт и гор. В (остаточные). Таким образом, под воздействием биологического фактора трансформи-

руется биогенно-аккумулятивный слой, что отражает общий принцип преобразования этого слоя на любой стадии изменения почвенного компонента экосистемы. Тот же принцип четко выявляется в географическом аспекте, сопровождаясь изменением типа биогенно-аккумулятивного слоя от органоминерального в черноземе – степная зона до органогенного – в таежной и тундровой зонах (см. рис. 10) при сохранении роли накопителя элементов питания, обеспечивающей устойчивое самовоспроизводство соответствующего типа растительного сообщества. Будучи системой открытого типа, почва под воздействием миграции водорастворимых органических веществ воздействует на подпочвенную породу, способствуя формированию также определенного типа образования – элювиально-иллювиального в таежной зоне, поверхностно-глеевого – в тундре. Под биогенно-аккумулятивным слоем минеральная порода приобретает строение в соответствии с климатическими условиями, водным режимом, типом биоты, составом фитомассы, особенностями биологического оборота органического (растительного) вещества. Иными словами, собственно почвой в ее природно-эволюционном значении является биогенно-аккумулятивный слой.

В главе 5 рассмотрены теоретические проблемы почвообразования, имеющие дискуссионный характер. Так, В.А. Рожков (2012), обсуждая проблему классификации почв, отметил, что до настоящего времени нет общепринятого определения почвы, что существенно затрудняет выделение ее нижней границы. На основании полученных нами результатов приводится определение почвы, отмечена главная роль в ее образовании биологического фактора, рассмотрено географическое разнообразие типов почв.

Таким образом, биогенно-аккумулятивный слой представляет в соответствии с природно-эволюционным развитием собственно почву – образование, формирующееся биологическим фактором. Рыхлая подпочвенная минеральная порода (традиционно рассматриваемая как минеральный почвенный профиль) – сопутствующее почве (генетически с нею связанное) образование, морфологическое строение которого обусловлено особенностями почвы, климатическими условиями.

Определение почвы как экосистемной структуры позволило разработать практические приемы оптимизации процесса восстановления разрушенных экосистем с учетом природно-климатических условий Севера. В заключительной главе 6 представлены концепция ускоренного (управляемого) процесса «природовосстановления» и система практических приемов

ее осуществления, рассмотрены результаты натуральных опытов применения этой системы в сравнении с традиционными приемами рекультивации, направленными на восстановление леса как ресурса, а не лесной природной экосистемы. Применение практической системы ускоренного «природовосстановления» способствует восстановлению нарушенной экосистемы на 20-25-й годы, тогда как самовосстановление происходит в течение нескольких десятилетий. Надо отметить, что заложенный в разработанной концепции «природовосстановления» системно-географический подход имеет более широкие возможности применения в разных регионах с целью восстановления природных экосистем и сохранения устойчивости биосферы при известной корректировке по климатическим условиям и социально-экономической специфике региона.

Таким образом, в разных условиях развития самовосстановительной сукцессии показана функционально взаимообусловленная связь биоты с преобразованием осваиваемого ею субстрата, определяющая в результате формирование нового природного тела – почвы, способного аккумулировать элементы питания растений, обеспечивающих стабильное воспроизводство растительного сообщества и экосистемы в целом. Почва вне экосистемы не развивается, не функционирует.

Сохранение биосферного равновесия в условиях Земли связано с восстановлением на посттехногенных территориях разрушенных природных экосистем, их «возвратом» в биосферу для обеспечения ее устойчивости, сохранения условий существования человеческой цивилизации.

ЛИТЕРАТУРА

Абакумов Е.В. Накопление и трансформация органического вещества на разновозрастных отвалах песчаного карьера // Почвоведение. 2008. № 8. С. 955–963.

Агрохимические методы исследования почв / Под ред. А.В. Соколова. М.: Изд-во АН СССР, 1975. 656 с.

Андреяшкина Н.И. Продуктивность некоторых горно-тундровых сообществ // Ботанические исследования на Урале. Свердловск, 1985. С. 43–47.

Арчегова И.Б. Особенности гумусообразования в почвах Воркутинской тундры. Сыктывкар: Коми кн. изд-во, 1972. 60 с.

Арчегова И.Б., Заболоцкая Т.Г., Кононенко А.В. и др. Продуктивность и круговорот элементов в фитоценозах Севера. Л.: Наука, 1976. 130 с.

Арчегова И.Б. Эффективная система природовосстановления – основа перспективного природопользования на Крайнем Севере. Сыктывкар, 1998. 12 с. (Научные доклады / Коми НЦ УрО РАН; Вып. 412).

Арчегова И.Б., Кузнецова Е.Г. Влияние древесных растений на химический состав атмосферных осадков в процессе восстановления среднетаежных лесов // Лесоведение. 2011. № 3. С. 34–43.

Арчегова И.Б., Федорович В.А. Методологические аспекты изучения почв на современном этапе. Екатеринбург, 2003. 92 с.

Арчегова И.Б., Федорович В.А. О биологической сущности почвы. Методологические проблемы почвоведения. Сыктывкар, 1988. 36 с. (Научные доклады / АН СССР. Коми филиал; Вып. 201).

Атлас по климату и гидрологии Республики Коми / Под ред. А.А. Братцева, А.П. Братцева. М.: Дрофа; ДиК, 1997. 116 с.

Вески Р.Э. О некоторых путях дальнейшего развития учения о почвах // Почвоведение. 1985. № 3. С. 79–87.

Голеусов П.В., Лисецкий Ф.Н. Воспроизводство почв в антропогенно нарушенных ландшафтах лесостепи. М.: ГЕОС, 2009. 210 с.

Горшков В.Г. Границы устойчивости биосферы // Изв. Всесоюз. геогр. об-ва, 1987. Т. 119. Вып. 4. С. 289–300.

Горшков В.Г. Физические и биологические основы устойчивости жизни. М.: Наука, 1995. 470 с.

Дегтева С.В. К проблеме изучения биологического разнообразия вторичных мелколиственных лесов среднетаежной подзоны Республики Коми // Биологическое разнообразие антропогенно трансформированных ландшафтов европейского северо-востока России. Сыктывкар, 1996. С. 902–101. (Тр. Коми НЦ УрО РАН. № 149).

Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Функции почв в биосфере и экосистемах. М.: Наука, 1990. 270 с.

Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Сохранение почв как незаменимого компонента биосферы. М.: Наука/Интерпериодика, 2000. 185 с.

Зольников В.Г. Почвы и природные зоны Земли. Л.: Наука, 1970. 338 с.

Зонн С.В. Современные проблемы генезиса и географии почв. М.: Наука, 1983. 167 с.

Ипатов В.С., Кирикова Л. А. Фитоценология. СПб., 1997. 316 с.

Ипатов В.С. Описание фитоценоза : Методические рекомендации. Учебно-методическое пособие. СПб., 1998. 94 с.

Караванова Е.И., Белянкина Л.А. Состав почвенных растворов основных типов почв Центрального лесного государственного природного биосферного заповедника // Вестн. МГУ. Сер. 17. Почвоведение. 2007. № 2.

Карпачевский Л.О., Зубкова Т.А., Пройслер Т. и др. Воздействие полога ельника сложного на химический состав осадков // Лесоведение. 1998. № 1. С. 50–59.

Карпачевский Л.О., Киселева Н.К. О методике учета опада и подстилки в смешанных лесах // Лесоведение, 1968, № 3. С. 73–79.

Корчагин А.А. Полевая геоботаника. М.-Л.: Наука, 1964. 532 с.

Крышень А.М. Растительные сообщества вырубок Карелии. М.: Наука, 2006. 262 с.

Крючков В.В. Природопользование и природовосстановление на Севере // Тез. докл. III Межд. конф. «Освоение Севера и проблемы рекультивации». Сыктывкар, 1996. С. 84–85.

Куликова В.К. Выщелачивание элементов питания из крон деревьев в еловых и березово-еловых насаждениях Карелии // Лес и почвы. Красноярск, 1968. С. 288–295.

Лаптева Е.М., Хабибуллина Ф.М., Пелихова Ю.М. Микробиота аллювиальных почв средней тайги. Сыктывкар, 2000. 32 с. (Сер. Науч. докл./Коми НИЦ УрО РАН; Вып. 426).

Ларин В.Б., Паутов Ю.А., Пручкин В.Д. Стратегия устойчивого развития лесных регионов Севера // Финно-угорский мир: состояние природы и региональная стратегия защиты окружающей среды: Матер. Междунар. конф. Сыктывкар, 2000. С. 93–98.

Лосев К.С. Мифы и заблуждения в экологии. М.: Научный мир, 2010. 224 с.

Лосев К.С., Мнацаканян Р.А., Дронин Н.М. Потребление возобновляемых ресурсов: экологические и социально-экономические последствия (глобальные и региональные аспекты). М.: ГЕОС, 2005. 158 с.

Махонина Г.И. Первоначальные стадии почвообразования на промышленных отвалах Урала // Освоение нарушенных земель. М.: 1976. С. 44–45.

Махонина Г.И. Экологические аспекты почвообразования в техногенных экосистемах Урала. Екатеринбург: Изд-во УрГУ, 2003. 351 с.

- Мейен С.В. Основы полеботаники. Недра, 1987. 403 с.
- Методы почвенной микробиологии и биохимии / Под. ред. Д.Г. Звягинцева. М.: Изд-во МГУ, 1991. 304 с.
- Методические указания по определению содержания и состава гумуса в почвах (минеральных и торфяных) / В.В. Пономарева, Т.А. Плотникова. Л., 1975. 106 с.
- Милько А. А. Определитель мукообразных грибов. Киев: Наукова думка, 1974. 303 с.
- Мина В.Н. Выщелачивание некоторых веществ атмосферными осадками из древесных растений и его значение в биологическом круговороте // Почвоведение. 1965. № 6. С. 7-17.
- Мирчинк Т. Г. Почвенная микология. М.: Изд-во МГУ, 1988. 220 с.
- Морозова Р.М. Минеральный состав растений лесов Карелии. Петрозаводск, 1991. 100 с.
- Морозова Р.М., Куликова В.К. Роль атмосферных осадков в круговороте азота и зольных элементов в еловых лесах Карелии // Почвенные исследования в Карелии. Петрозаводск, 1974. С. 143-149.
- Никонов В.В., Лукина Н.В. Влияние ели и сосны на кислотность и состав атмосферных выпадений в северо-таежных лесах индустриально-развитого региона // Экология. 2000. №2. С. 97-105.
- Научно-прикладной справочник по климату СССР. Сер. 3, Многолетние данные. Ч. 1-6. Вып. 1. Архангельская и Вологодская области, Коми АССР. Л.: Гидрометеиздат, 1989. кн. 1. 483 с.
- Огиевский В.В., Хиров А.А. Обследование и исследование лесных культур. М.: Лесная промышленность, 1964. 48 с.
- Орлов Д.С. Процесс гумификации и информативность показателей гумусного состояния почв // Современные проблемы гумусообразования. Сыктывкар, 1986. С. 7-19.
- Парфенюк В.И. Лесная рекультивация нарушенных земель в зоне крайнесеверной тайги Республики Коми // Матер. II Межд. конф. «Освоение Севера и проблемы рекультивации». Сыктывкар, 1994. С. 290-295.
- Подзолистые почвы центральной и восточной частей европейской территории СССР / Под ред. А.А. Роде. Л., 1981. 200 с.
- Пономарева В.В. Лес как элювиально устойчивый тип растительности // Ботанический журнал. 1970. Т. 55. № 11. С. 1585-1595.
- Пономарева В.В. Теория почвообразовательного процесса. М.-Л.: Наука, 1964. 378 с.
- Пономарева В.В., Плотникова Т.А. Гумус и почвообразование (методы и результаты изучения). Л.: Наука. 1980. 222 с.
- Пономарева В.В., Рожнова Т.А., Сотникова Н.С. Современные процессы миграции-аккумуляции химических элементов в профилях подзолистых почв (лизиметрические наблюдения) // Почвы Карелии и пути повышения их плодородия. Петрозаводск, 1971. С. 17-32.
- Посттехногенные экосистемы Севера / Под ред. И.Б. Арчеговой, Л.П. Капелькиной. СПб.: Наука, 2002. 159 с.

Пристова Т.А. Кислотность и химический состав почвенных вод иллювиально-железистого подзола лиственнично-хвойного насаждения средней тайги. Сыктывкар, 2005. 28 с. (Научные доклады/ Коми НЦ УрО РАН; Вып. 468).

Пристова Т.А. Биологический круговорот веществ во вторичном лиственнично-хвойном насаждении средней тайги // Экология. 2008. С. 189–195.

Пристова Т.А., Забоева И.В. Химический состав атмосферных осадков и лизиметрических вод подзола иллювиально-железистого под хвойно-лиственными насаждениями (Республика Коми) // Почвоведение. 2007. №12. С. 1472–1481.

Родин Л.Е., Базилевич Н.И. Динамика органического вещества и биологический круговорот в основных типах растительности Земного шара. М.-Л.: Наука, 1965. 252 с.

Родин Л.Е., Ремезов Н.П., Базилевич Н.И. Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах. Л.: Наука, 1967. 145 с.

Рожков В.А. Классификация и классификация почв // Почвоведение. 2012. № 3. С. 259–269.

Снакин В.В., Пристяжная А.А., Рухович О.В. Состав жидкой фазы почв. М., 1997. 325 с.

Соколов И.А. Почвообразование и экзогенез. М.: Наука, 1997, 244 с.

Соколов И.А. Теоретические проблемы генетического почвоведения. Новосибирск: Наука, 1993. 232 с.

Стрелкова А.А. Процессы миграции веществ с природными водами // Почвенные исследования в Карелии. Петрозаводск, 1974. С. 150–161.

Таргульян В.О. Экзогенез и педогенез: расширение теоретической базы почвоведения // Вестн. МГУ. Сер. Почвоведение. 1983. №1. С. 33–43.

Теория и практика химического анализа почв / Под ред. Л.А. Воробьевой М.: ГЕОС, 2006. 400 с.

Толчельников Ю.С. О сущности понятия «почва» // Вестн. МГУ. Сер. Почвоведение. 1985. №3. С. 52–58.

Флора северо-востока европейской части СССР/ Под ред. А.И. Толмачева. Л: Наука. 1974. Т. I. 273 с.; 1976. Т. II. 315 с.; 1976. Т. III. 293 с.; 1977. Т. IV. 312 с.

Чальшев В.И. Открытие ископаемых почв в пермских и триасовых отложениях // ДАН СССР. 1968. Т. 182. № 2. С. 50–53.

Чальшев В.И., Арчегова И.Б., Печникова Н.В. Состав органического вещества некоторых ископаемых почв пермской системы. Сыктывкар, 1973. С. 8–10. (Тр. Ин-та геологии Коми фил. АН СССР; Вып. 18).

Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств. СПб.: Мир и семья-95, 1995. 992 с.

Чижиков П.Н. О понятии «почвообразующая порода» и «подпочва» // Почвоведение. 1968. №3. С. 120–124.

Чижииков П.Н. О признаках, отличающих почву от породы // Почвоведение. 1969. № 12. С. 143–148.

Фролова Л.Н. Особенности почвообразования на вырубках еловых лесов Коми АССР // Лес и почвы. Красноярск, 1968. С. 253–258.

Хабибуллина Ф.М. Почвенные микромицеты ельника чернично-зеленомошного средней тайги // Лесоведение. 2001. № 1. С. 43–48.

Шенников А.П. Введение в геоботанику. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1964. 447 с.

Шильцова Г.В., Ласточкина В.Г. Влияние полога соснового и березового леса на химический состав осадков в заповеднике «Кивач» // Труды Карельского НЦ РАН. Петрозаводск, 2006. Вып. 10. С. 180–184.

Шилова Е.И., Коровкина Л.В. Сезонная динамика химического состава лизиметрических вод подзолистых тяжелосуглинистых почв // Почвоведение. 1961. №3. С. 36–47.

Шилова Е.И., Коровкина Л.В. Сравнительная характеристика состава растворов и лизиметрических вод дерново-подзолистых почв // Почвоведение. 1962. №8. С. 11–23.

Шилова Е.И., Стрелкова А.А. Состав и свойства лизиметрических вод лесных подзолистых почв Южной Карелии // Почвоведение. 1974. №8. С. 18–27.

Экологические принципы природопользования и природовосстановления на Севере / Под ред. И.Б. Арчеговой. Сыктывкар, 2009. 176 с.

Юдин Ю.П. Геоботаническое районирование // Производительные силы Коми АССР. М.-Л., 1954. Т. 3. Ч. 1. С. 323–359.

Ainsworth and Bisby's Dictionary of the fungi. 8th ed. / Eds. D.L. Hawksworth et al. CABI Bioscience, 1995. 540 p.

Domsh K. H., Gams W., Anderson T.-H. **Compendium of soil fungi**. IHW-Verlag Eching, 2007. 672 p.

<http://www.indexfungoru.org>

Ramirez C. Manual and atlas of the Penicillia. Amsterdam-N.-Y.-Oxford: Elsevier Biomedical Press, 1982. 874 p.

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ISBN 978-5-89606-545-6



Научное издание

Коллектив авторов

**ФОРМИРОВАНИЕ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ
НА ПОСТТЕХНОГЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ В ТАЕЖНОЙ ЗОНЕ**

*Рекомендовано к изданию
Ученым советом Института биологии Коми НЦ УрО РАН*

Редактор Л.А. Федорова
Оригинал-макет – Е.А. Волкова

Лицензия № 0047 от 10.01.99

Компьютерный набор. Подписано в печать 29.07.2015.
Формат 60x90^{1/16}. Бум. офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 8.75.
Уч.-изд. л. 8.75. Тираж 300. Заказ

Отпечатано с готового оригинал-макета заказчика
в полном соответствии с предоставленными материалами
в ООО «Коми республиканская типография»
Адрес: 167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. В. Савина, 81