

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи



ДЫМОВ Алексей Александрович

**ПОЧВЫ ПОСЛЕРУБОЧНЫХ, ПОСТПИРОГЕННЫХ
И ПОСТАГРОГЕННЫХ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ
СЕВЕРО-ВОСТОКА ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ**

Специальности:

03.02.13 – Почвоведение (биологические науки)

03.02.08 – Экология (по отраслям) (биологические науки)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора биологических наук

Москва – 2018

Работа выполнена в отделе почвоведения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук (ИБ Коми НЦ УрО РАН)

Научный консультант: – *Милановский Евгений Юрьевич,*
доктор биологических наук, доцент, ведущий научный
сотрудник кафедры физики и мелиорации почв
факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова

Официальные оппоненты:– *Бахмет Ольга Николаевна,*
доктор биологических наук, член-корреспондент РАН,
руководитель лаборатории лесного почвоведения
ФГБУН «Институт леса Карельского научного центра
Российской академии наук»

Козут Борис Маратович,
доктор сельскохозяйственных наук,
заведующий отделом биологии и биохимии почв
ФГБУН «Почвенный институт им. В.В. Докучаева»

Лукина Наталья Васильевна,
доктор биологических наук, член-корреспондент РАН,
директор ФГБУН «Центр по проблемам экологии и
продуктивности лесов Российской академии наук»

Защита диссертации состоится 27 марта 2018 г. в 15 часов 30 минут на заседании диссертационного совета МГУ.03.05 Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова по адресу: 119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12, МГУ имени М.В. Ломоносова, факультет почвоведения, аудитория М-2.

Е-mail: mmakarov@soil.msu.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в отделе диссертаций научной библиотеки МГУ имени М.В. Ломоносова (Ломоносовский просп., д. 27) и на сайте ИАС «ИСТИНА»: <https://istina.msu.ru/dissertations/92402264/>.

Автореферат разослан 22 января 2018 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор биологических наук



Н.О. Ковалева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Таежные леса, являясь доминирующим типом биома на территории Российской Федерации, выполняют ключевую роль в регулировании климата всей планеты (Разнообразие..., 2012). В почвах бореальных лесов сосредоточено приблизительно 30 % общепланетарных запасов почвенного углерода (Scharlemann et al., 2014). Почвенное органическое вещество (ПОВ) выполняет ряд важнейших функций и отражает специфику развития экосистем (Ваксман, 1937; Тюрин, 1937; Кононова, 1963; Пономарева, Плотникова, 1980; Дергачёва, 1984; Гришина, 1986; Орлов, 1990). Современные исследования ПОВ опираются на возрастающие возможности аналитической химии, позволяющие рассматривать систему ПОВ с позиций супрамолекулярной химии (Милановский, 2009; Федотов, Шоба, 2013; Piccolo, 1999, 2002) и эко-био-физико-химической концепции происхождения органического вещества (Семёнов, Когут, 2015). основополагающие работы (Stark et al., 2012; Jonsen et al., 2006; Knicker et al., 2013; Koegel-Knabner, Amelung, 2014) посвящены выявлению диагностической роли индивидуальных органических химических соединений в процессе функционирования почв. Большинство концептуальных современных исследований ПОВ направлено на последовательное фракционирование сложной системы и выявление функционально значимых пулов и групп соединений, обладающих определенными свойствами при сохранении «нативности» и «функций» отдельных фракций ПОВ (Милановский, 2008; Заварзина и др., 2015; Sutton, Sposito, 2005; Huta et al., 2011; Lehman, Kleber, 2015; Perminova et al., 2015; Holodov et al., 2016). Однако, рассматриваемые работы практически не затрагивают изменения почв и ПОВ в ходе сукцессий таежных экосистем.

Лесные почвы испытывают значительный антропогенный пресс и подвержены различным типам воздействия. При этом антропогенно измененные почвы изучены существенно слабее, чем почвы естественных экосистем. В настоящее время изменения почв лесных экосистем России в значительной степени связаны с ведением лесозаготовительной деятельности, пожарами, а также зарастанием выведенных из оборота сельскохозяйственных угодий. Восстановление свойств почв после воздействия этих факторов соотносится с временными интервалами, применяемыми для изучения почвенных сукцессий (Васенёв, 2008; Эволюция..., 2015). Изменения и последующая динамика

свойств почв под влиянием рассматриваемых факторов на территории европейского Северо-Востока и России в целом, изучены фрагментарно, с различной степенью детализации. Можно ожидать, что морфологические свойства, физико-химические параметры почв, различные пулы, фракции и индивидуальные соединения ПОВ будут отражать отдельные этапы развития экосистем в ходе сукцессионных смен. Изучение их изменений в ходе сукцессий актуально и имеет большое теоретическое и практическое значение.

В связи с этим **цель** исследования заключалась в выявлении закономерностей изменений почв лесных экосистем на территории северо-востока европейской части России в ходе послерубочных, постпирогенных и постагрогенных сукцессий.

Задачи исследования:

1. Определить морфологические и физико-химические характеристики, особенности органического вещества почв эталонных (ненарушенных) лесных экосистем.
2. Выявить закономерности изменений морфологических, физических и химических показателей почв в ходе сукцессий, раскрывающих трансформацию и формирование лесных почв.
3. Охарактеризовать закономерности изменений различных пулов и фракций почвенного органического вещества при различных внешних факторах.
4. Систематизировать сукцессии почв вторичных лесных экосистем.

Научная новизна. Впервые на примере северо-востока европейской части России систематизированы преобладающие вторичные сукцессии почв бореальных лесов. Определены морфологические признаки почв лесов, подвергнувшихся рубкам и пожарам, раскрыты особенности их сохранности и динамики в ходе сукцессий. Раскрыты закономерности изменений морфологических, физических и химических свойств почв в ходе послерубочных, постпирогенных и постагрогенных сукцессий. Выявлены закономерности изменения состава древесного опада, параметров температурного режима почв в ходе послерубочных сукцессий. Охарактеризованы основные закономерности изменений запасов углерода и азота. Впервые установлены закономерные тренды свойств почв и ПОВ в ходе вторичных сукцессий в таежной зоне. Показано, что качественный и количественный состав молекулярно и физически однородных фракций органического вещества лесных почв отражает специфику

сукцессионных смен растительности, происходящих под влиянием естественных и антропогенных факторов.

Теоретическая и практическая значимость. Создана теоретическая основа для прогнозирования изменений свойств почв при сплошнолесосечных рубках, пожарах и выведении их из сельскохозяйственного использования. Оценено современное состояние естественных, послерубочных, постпирогенных и постагrogenных почв, которое может быть использовано при принятии решений об их дальнейшем использовании. Показано, что диагностические пулы, молекулярно гомогенные фракции и индивидуальные соединения маркируют формирование органического вещества и почв на различных этапах сукцессий. Полученные результаты могут быть использованы при экспертных оценках влияния антропогенной деятельности на циклы углерода и азота в таежных экосистемах.

Приведенные в работе материалы внедрены и используются в учебном процессе в Сыктывкарском государственном университете им. Питирима Сорокина в лекционных курсах «Почвоведение» и «Химия почв», лабораторных практикумах. Исследуемые в диссертации почвы составили основу коллекции монолитов преобладающих лесных почв Республики Коми (РК) кафедры «Лесное хозяйство и деревообработка» факультета лесного и сельского хозяйства Сыктывкарского лесного института (филиала) ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова» и используются в учебном процессе по дисциплинам «Почвоведение», «Лесоведение», «Актуальные вопросы лесоведения», «Лесоводство», «Проблемы современного лесоводства», «Гидротехнические мелиорации» и «Экология».

Положения, выносимые на защиту:

1. В ходе послерубочных сукцессий на пасечных участках вырубок имеют место изменения морфологических и физико-химических свойств почв, характеристик почвенного органического вещества. Сукцессионные изменения почв обусловлены сменой гидрологических и микроклиматических условий, состава опада. На механически нарушенных участках выделены турбоземы детритные, характеризующиеся высокой долей участия крупных порубочных остатков в верхних горизонтах. Морфологические признаки нарушений в почвах вырубков сохраняются до полувека.

2. Интегральным следствием увеличения содержания ароматических фрагментов в составе почвенного органического вещества, возрастания содержания полициклических ароматических углеводов и снижения содержания водорастворимых органических соединений является гидрофобизация поверхности компонентов твердой фазы почв при пожарах. Пирогенные морфологические признаки в почвах сохраняются до 150 лет, отражают развитие почв, в связи с чем предложено выделение универсального подтипа «пирогенный» (руг) для почв автоморфных и полугидроморфных лесных ландшафтов (текстурно-дифференцированные, альфегумусовые).

3. В ходе постагрогенных сукцессий в среднетаежной подзоне происходит подкисление почв, увеличение содержания водорастворимых органических соединений, увеличение запасов углерода и азота в почвах. Агрогумусовый горизонт сохраняется не менее ста лет. Выведение агроземов из сельскохозяйственного использования способствует их преобразованию в дерново-подзолистые почвы.

4. Наиболее чувствительными показателями почвенного органического вещества в ходе послерубочных, постпирогенных и постагрогенных сукцессий являются содержание водорастворимых соединений, состав, содержание и свойства легких денсиметрических фракций верхних минеральных горизонтов, запасы углерода в подстилках, отношение C:N. Более стабильными являются содержание и состав щелочерастворимого органического вещества и запасы углерода в минеральных горизонтах почв.

5. На основе анализа морфологического строения и физико-химических свойств почв, установлено, что почвы пасечных участков вырубок и лесные почвы, пройденные беглыми низовыми пожарами, возвращаются к близкому к исходному состоянию в течение десятилетий. Возврат к исходному состоянию при наличии механических нарушений, пожарах высокой интенсивности в ходе первого столетия не наблюдается.

Личный вклад автора. Диссертационная работа является результатом многолетних исследований автора (2001-2017 гг.). Автором обоснована тема, сформулированы цели и задачи, разработаны теоретические положения, спланированы и выполнены научные эксперименты, получены и проанализированы исходные данные, сформулированы заключения и основополагающие выводы работы. В совместных статьях вклад пропорционален числу соавторов.

Апробация работы. Результаты работы были представлены на конференциях по лесному почвоведению (Петрозаводск, 2005; Апатиты, 2011; Пущино,

2013; Сыктывкар, 2007; 2015), на всероссийском съезде почвоведов (Белгород, 2016). На международных конференциях: ESSC conference «Soil and Water Conservation under Changing land Use» (Испания, 2006); «IUFRO–8.01.02 Landscape Ecology Conference» (Китай, 2008); «Adapting Forest Management to Maintain the Environmental Services: Carbon Sequestration, Biodiversity and Water» (Финляндия, 2009); 19th World Congress of Soil Science (Австралия, 2010); AMAP conference «Arctic as a Messenger for Global Processes – Climate Change and Pollution» (Дания, 2011); Eurosoil 2012 (Италия, 2012); «Горные экосистемы и их компоненты» (Абхазия, 2012); «Soil Carbon Sequestration: for Climate, Food Security and Ecosystem Services» (Исландия, 2013); «Protection of Soil Functions – Challenges for the Future» (Польша, 2013); «14th Nordic Humic Substance Society Meeting» (Швеция, 2013); «Biogeomon 2014» (Германия, 2014); «5th International Conference of Fire Effects on Soil Properties» (Ирландия, 2015); «Waterland2016» (Литва, 2016). На всероссийских и международных конференциях в Российской Федерации: Москва (2004, 2006; 2007; 2010; 2012; 2016); Ухта (2002; 2014); Архангельск (2006); Киров (2006); Улан-Удэ (2009); Красноярск (2003; 2014); Сыктывкар (2002-2015). Результаты исследований обсуждены в рамках научных дебатов, проводимых при Совете РАН по лесу «Неистощительность лесопользования» (Москва, 2016), на заседаниях Ученого совета Института биологии Коми НЦ УрО РАН (2011, 2015), заседании кафедры общего почвоведения, факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова (2017).

Связь работы с плановыми исследованиями и научными программами. Материалы, послужившие основой для написания диссертации, получены и обобщены при реализации плановых тем фундаментальных научно-исследовательских работ отдела почвоведения Института биологии Коми НЦ УрО РАН: 2003-2005 гг. «Генезис, функции почв в организации и устойчивости экосистем европейского северо-востока России» (Гр 01.2.00.107250); 2006-2008 гг. «Механизмы формирования и функционирования целинных и антропогенно нарушенных почв в таежных и тундровых ландшафтах европейского Северо-Востока» (Гр 0120.0603502); 2009-2011 гг. «Организация, функционирование и эволюция почв криолитозоны европейского северо-востока России» (Гр 0120.0853980); 2012-2014 гг. «Биогеографические и ландшафтные закономерности формирования почв как компонентов наземных экосистем Субарктики на европейском северо-востоке России» (№ 0120.1250267); 2015-2017 гг. «Пространственно-временные закономерности формирования торфяных почв на европейском северо-востоке России и их трансформации в условиях меняю-

шегося климата и антропогенного воздействия» (№ 115020910065); проектов Уральского отделения РАН (13-4-НП-246, 14-4-ИП-21); Российского фонда фундаментальных исследований (08-04-90718-моб_ст, 11-04-00885а, 12-04-90700 моб_ст, 12-04-10072-к, 13-04-00570а); грантов Министерства образования РФ – гранты Президента РФ для поддержки молодых российских ученых кандидатов наук (МК-1027.2013.4, МК-2905.2015.4); Международного научного проекта «OMRISK»; Международного проекта «ПРООН/ГЭФ – углеродный компонент», а так же хозяйственных работ Института (2003-2017 гг.).

Публикации. Результаты исследований отражены в 70 публикациях, из них 27 в журналах, входящих в перечень изданий, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России, в том числе 19 статей в журналах Web of Science, Scopus и RSCI, а также научных статьях в сборниках, материалах и тезисах докладов российских и международных конференций.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, семи глав, заключения и выводов, изложена на 286 страницах, включает список литературы из 521 наименований, в том числе 178 на английском языке, 52 рисунка, 49 таблиц, три приложения.

Благодарности. Автор выражает глубочайшую признательность Льву Оскарovichу Карпачевскому, Евгению Юрьевичу Милановскому, Елене Морисовне Лаптевой за постоянную помощь, поддержку и доброжелательное отношение, возможность всестороннего обсуждения замыслов и результатов исследования, ценные советы и критические замечания. Автор признателен коллегам и друзьям, с которыми удалось обсудить содержание работы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава I. ИЗМЕНЕНИЯ ПОЧВ БОРЕАЛЬНЫХ ЭКОСИСТЕМ ПОД ВЛИЯНИЕМ ПРЕОБЛАДАЮЩИХ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

Приведены современные научные представления о морфологических, физико-химических свойствах лесных почв (Забоева, 1975; Втюрин, 1991; Карпачевский, 1997; Лукина и др., 2008; Горячкин, 2010; Ершов, 2015). На основе литературных данных дан сравнительный анализ свойств естественных и антропогенно измененных почв бореальных лесов. Обсуждаются закономерности изменений морфологических и физико-химических свойств почв и почвенно-

го органического вещества при рубках (Орфанитский, Орфанитская, 1971; Росновский, 2001; Иванов, 2005; Бахмет, 2014; Cambi et al., 2015), пожарах (Безкозровой и др., 2007; Евдокименко, 2011; Швиденко и др., 2011; Краснощек, Чередникова, 2012; Воздействие..., 2014; Conard, Ivanova, 1997; Doerr et al., 2000; Certini, 2005; Bond-Lamberty et al., 2007; Abakumov et al., 2017) и выводе из сельскохозяйственного использования (Люри и др., 2010; Владыченский и др., 2013; Телеснина, 2015; Рыжова и др., 2015; Kalinina et al., 2015; Kurganova et al., 2015). Проанализированы современные методологические и методические подходы к исследованию почвенного органического вещества (Орлов и др., 2005; Милановский, 2009; Артемьева, 2010; Семенов, Когут, 2015; Федотов, Шоба, 2015; Лукина и др., 2016; Piccalo, 1999, 2002; Sutton, Sposito, 2005; Kogel-Knabner, Amelung, 2014; Lehmann, Kleber, 2015; Wiesmeier et al., 2016), данные о запасах углерода и свойствах ПОВ бореальных лесов (Углерод..., 2005; Коренные..., 2006; Замолотчиков, 2009; Kurz et al., 2009).

Анализ литературных данных позволил выявить, что несмотря на большое количество публикаций вопрос о морфологических признаках, динамике физико-химических свойств, количественной оценке изменений ПОВ бореальных лесов в ходе послерубочных, постпирогенных и постагрогенных сукцессий остается открытым.

Глава II. ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ РЕГИОНА ИССЛЕДОВАНИЯ. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

2.1. *Регион исследований* расположен в Республике Коми на водораздельных пространствах Вычегодско-Мезенской равнины, Печорской низменности, Северных Увалов, Тиманской возвышенности и западного макросклона Урала, где представлены разные типы лесов (подзоны северной, средней и южной тайги). Почвы формируются на четвертичных отложениях: пески, флювиогляциальные двучленные отложения, моренные и покровные пылеватые суглинки. Естественные почвы сравнивали на уровне отдельных подзон тайги с учетом доминирующих лесных формаций.

2.2. *Объекты исследования.* Основные объекты исследования, представляющие сукцессионные ряды с различным временным интервалом после воздействия различных факторов, представлены в таблице 1. Подзолистые почвы и естественное возобновление растительности после сплошнолесосечных рубок в среднетаежной зоне характеризуют участки серии УК (Усть-Куломский

Таблица 1. Краткая характеристика основных объектов исследования

Воз- дей- ствие	Обозна- чение	Время после воздействия, лет/дней	Тип почв	Строение профилей опорных разрезов	Вариант определений
После рубочные	Ельники черничные				
	1УК	К*	Подзолистая	O-(e-hi, f)-EL-BEL-BT-BC	1-10
	2УК	6-13	Подзолистая глееватая	O-ELg, hi, f-BEL-BT-BC	
	3УК	38-45	Подзолистая	O-ELn, hi-BEL-BT-BCg	
	Сосняки бруснично-зеленомошные				
	1ПР	К	Подзол литобарьерный	O-E-BHF-BDe-BDg	1-8
	2ПР	10	Торфяно-подзол глеевый литобарьерный	O-Eg-BFg/BGf, n-BDeg-BDg	
	3ПР	21	Подзол литобарьерный глееватый	O-Ehi, g-BFg-BDeg-BDg	
Постыриженные	Сосняки лишайниковые				
	1L	К	Подзол ил.-железистый	O(L)-O(F+H)-E-BF-BC	1-7, 11-12
	2L	1	Подзолы иллювиально-железистые пирогенные	Qpyr/L-Qpyr-E-BF-BC	1, 2, 5
	3L	2			1-7, 11-12
	4L	10			
	5L	16			
	Сосняки бруснично-зеленомошные				
	1BM	К	Подзол ил.-железистый	O(L)-O(F+H)-E-BF-BC	1-5, 7, 11, 12
	2BM	50 дн.	Подзолы иллювиально-железистые пирогенные	Qpyr/L-O(F)pyr-Epyr-Bhi,pyr-BF	
	3BM	48 дн.		Qpyr/L-O(F)-E-BF	
	4BM	83 дн.		Qpyr/L-O(F)pyr-Epyr-BF-BC	
	5BM, 6BM	2		1-5	
	Ельники чернично-зеленомошные				
	1S	К	Подзолистая	O-EL- BEL-BT	1-4, 11-12
	2S	9	Подзолистая пирогенная	Qpyr-ELpyr-ELf-BEL-BT	1-2, 12
	3S	100		O-Qpyr-ELpyr-EL-BEL-BT	
	4S	154			
	Сосняки сфагновые				
1M	К	Торфяно-подзол	Oч.-O(F)-O(H)-E-BHFn-BCg	1, 2, 5	
2M	1	Торфяно-подзолы пирогенные	Qpyr/L-Ehi, pyr-BHF-BCg		
3M	1		Qpyr/L-O(F)-O(H)-E-BHF-BCg		
4M	3		Qpyr/L-Opyr.(F)-O(H)-E-BHF-BCg		
Постарогенные	Ельники чернично-зеленомошные				
	1AC	К	Подзолистая	O(L)-O(F)-O(H)-ELhi-ELg-BEL-BT	1-6
	2AC	7	Агрозем текстурно-дифференцированный	AY-P-BEL-BT	
	3AC	19		AY-P-EL-BEL-BT1-BT2-BT3	
	4AC	85	Агродерново-подзолистая текстурно-дифференцирован.	O(L)-O(F+H)-AY-AY(P2)-EL-BEL-BT-BT2-BT3	
	1-1AC	К	Подзолистая текстурно-дифференцированная	O(L)-O(F)-O(H)-EL-BEL-BT	
	1-2AC	8	Агрозем текстурно-дифференциров.	P-BEL-BT	

К – почва условно-фонового участка. Qpyr – пирогенный горизонт (по: Краснощек, 2011). Варианты определений: 1 – описания почв и фитоценозов; 2 – определение базовых физических и химических свойств; 3 – оценка запасов углерода и азота; 4 – гидрофильно-гидрофобные свойства щелочерастворимого органического вещества (ЖХГВ); 5 – определение содержания Свос; 6 – денсиметрическое фракционирование; 7 – содержание молекулярных фрагментов (¹³C-ЯМР спектроскопия); 8 – мониторинг состава древесного опада; 9 – мониторинг температуры почв; 10 – оценка химического состава водотоков; 11 – краевой угол смачивания; 12 – определение содержания ПАУ в почвах.

р-н, исходный тип леса представлен ельником черничником, почва подзолистая текстурно-дифференцированная на покровных суглинках) и ПР (Прилузский р-н, исходный тип леса представлен сосняком бруснично-зеленомошным, почва – подзол иллювиально-железистый литобарьерный).

Оценку механических нарушений проводили на почвах, приуроченных к трелевочным волокам и лесопогрузочным площадкам с известным временем, прошедшим с момента воздействия. Условно-фоновые участки расположены рядом с вырубками и соответствуют последним по расположению в рельефе и типу растительности (дорубочным).

Мониторинг температуры почв проводили в 2008-2014 гг. под ельником черничным (1УК) и вторичными лиственно-хвойными насаждениями (2УК, 3УК). Химический состав воды за период 2009-2011 гг. малой лесной реки Ыба характеризует водосборную территорию элементарного бассейна коренного елового леса (1УК), а реки Изъяель – элементарный бассейн лиственно-хвойного леса (3УК).

Объекты исследования последствий пирогенеза расположены в подзонах средней и северной тайги в Усть-Куломском, Сыктывдинском, Корткеросском, Удорском, Сосногорском и Троицко-Печорском районах РК. При низовом типе пожара в сосняках лишайниковых, формирующихся на подзолах иллювиально-железистых, и ельниках чернично-зеленомошных, развивающихся на подзолистых почвах, подстилки уничтожены полностью. В сосняках бруснично-зеленомошных, произрастающих на подзолах иллювиально-железистых, и сосняках сфагновых, формирующихся на торфяно-подзолах, выгорела только наиболее сухая часть подстилки. Отбор образцов проводился на наиболее нарушенных участках.

Изменение почв в ходе постагрогенных сукцессий изучали на примере залежей, выведенных из сельскохозяйственного использования (сенокосные угодья) на территории средне таежной подзоны РК от 7 до 85 лет назад. В качестве фоновых объектов служили почвы прилегающих массивов естественных лесов в сходных условиях функционирования.

2.3. Методологические подходы и методы исследования. Исследования типичных (естественно развивающихся) почв бореальных лесов преимущественно проводили на особо охраняемых территориях РК или на участках с минимальным антропогенным воздействием. Изучение почв в ходе послерубочных, постпирогенных и постагрогенных сукцессий проводили на участках, близких

по исходному типу леса, ландшафтному положению, исходному типу почв и характеру воздействия. Для восстановления истории землепользования привлекали данные планов лесонасаждений лесхозов, дендрохронологических обследований. Название почв и индексация генетических горизонтов в настоящей работе приведены в соответствии с «Полевым определителем почв России» (2008). Химический анализ почв, компонентов опада, вод и денсиметрических фракций выполнен классическими методами анализа (Теория и практика..., 2006) в Экоаналитической лаборатории и ЦКП «Хроматография» Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Количество опада растений древесного яруса определяли с помощью опадоуловителей в 14-кратной повторности. Методом жидкостной хроматографии гидрофобного взаимодействия (ЖХГВ) анализировали состав амфифильных компонентов органического вещества почв, экстрагируемых раствором 0.1 М NaOH при соотношении почва:раствор (1:10) согласно Милановскому (2009). Гумусовые вещества (ГВ), входящие в первые две хроматографические фракции отнесены к гидрофильным и представлены низко обуглероженными, насыщенными азотом низкомолекулярными алифатическими соединениями. ГВ в составе третьей, четвертой и пятой хроматографической фракций – к гидрофобным, представленными высокомолекулярными восстановленными органическими соединениями ароматической природы. В четвертую фракцию попадают лигниноподобные соединения, пятая фракция представлена ГВ, связанными с железом и алюминием. Денсиметрическое фракционирование проводили с использованием раствора поливинилпирролидона натрия согласно методическим разработкам (Grunewald et al. 2006; Cerli et al., 2012). Фракция свободного органического вещества ($COB_{<1.6}$) отделена раствором с плотностью $1.60 \pm 0.03 \text{ г см}^{-3}$. Оклюдированное органическое вещество ($OOB_{<1.6}$), входящее в состав почвенных агрегатов, отделяли раствором с этой же плотностью, после обработки ультразвуком, при мощности 150 Дж см^{-3} (Schmidt et al., 1999). Фракции, в которых ОВ преимущественно связано с минеральной составляющей, разделяли на первую тяжелую фракцию – $ТФ_{1.6-2.2}$ (плотность от $1.6-2.2 \text{ г см}^{-3}$) и вторую – $ТФ_{>2.2}$ (плотность более $2.2 \pm 0.03 \text{ г см}^{-3}$). В некоторых случаях отделяли одну тяжелую фракцию ($ТФ_{>1.6}$) с плотностью более $1.6 \pm 0.03 \text{ г см}^{-3}$. Определение краевого угла смачивания почв и денсиметрических фракций проводили методом статической посаженной капли (Static sessile drop) на гониометре DSA 100 (Kruss, Германия) на кафедре физики и мелиорации почв факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова.

Спектры ^{13}C -ЯМР воздушно сухих денсиметрических фракций, органогенных горизонтов и компонентов опада снимали в ЦКП «Диагностика структуры и свойств наноматериалов» Кубанского государственного университета. Для количественной обработки спектров использовали следующие интервалы: 0-45 м.д. – незамещенные алкилы ($\text{C}_{\text{Alk-H(R)}}$); 45-60 м.д. – метоксильные и О, N – замещенные алифатические фрагменты ($\text{C}_{\text{CH}_3\text{-O}}$); 60-95 м.д. – О-алкил замещенные алифатические фрагменты ($\text{C}_{\text{Alk-O}}$); 95-110 м.д. – дважды замещенные алкильные фрагменты ($\text{C}_{\text{O-Alk-O}}$); 110-145 м.д. – незамещенные или алкил замещенные ароматические структуры ($\text{C}_{\text{Ar-H(C)}}$); 145-165 м.д. – О-замещенные (фенольные) ароматические фрагменты ($\text{C}_{\text{Ar-O,N}}$); 165-185 м.д. – карбоксильные группы ($\text{C}_{\text{COOH(R)}}$); 185-220 м.д. – карбонилы альдегидов и кетонов ($\text{C}_{\text{C=O}}$) (Mastrolonardo et al., 2015; Miesel et al., 2015). Степень разложения органического вещества оценивали согласно (Baldock, Preston, 1995) по соотношению алкил (0-45 м.д.) к О-алкил (45-110 м.д.). Степень ароматичности (fa) определяли как суммарное содержание ароматических компонентов ($\text{C}_{\text{Ar-H,C}}$ и $\text{C}_{\text{Ar-O,N}}$) (Федорова и др., 2003). Качественный состав и содержание полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в почвах и денсиметрических фракциях определяли на хроматографе «Люмахром» (Люмэкс, Россия). Экстракцию углерода водорастворимых органических соединений (Свос) проводили согласно (Dymov et al., 2017).

Оценка достоверности результатов базируется на основе разностороннего анализа полевого и лабораторного материала с использованием статистических методов, показавших точность и воспроизводимость полученных данных. Статистическая обработка результатов измерений выполнена с использованием программ Excel 2007 и Statistica 10.

Глава III. ПОЧВЫ ЕСТЕСТВЕННО РАЗВИВАЮЩИХСЯ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ

Приведены морфологические и физико-химические параметры, содержание, запасы и характеристики состава почвенного органического вещества естественно развивающихся лесных почв (подзолов иллювиально-железистых, подзолов литобарьерных, подзолистых текстурно-дифференцированных, торфяно-подзолисто-глеевых).

Почвы естественно развивающихся лесов обладают типичными морфологическими свойствами. Все рассматриваемые почвы кислые при наименьших

значениях $\text{pH}_{\text{водн.}}$ (3.7-4.3) в ферментативных подгоризонтах подстилок и уменьшением кислотности с глубиной в минеральных горизонтах (4.9-5.3). Почвы характеризуются плавным убывающим распределением углерода, элювиально-иллювиальным профильным распределением оксалаторастворимых форм железа и алюминия, окристаллизованного железа. Высокие концентрации обменных катионов, степень насыщенности основаниями, содержания углерода и азота выявлены для органогенных горизонтов. Слабая деструкция компонентов растительного опада диагностируется по низкой насыщенности органического вещества (ОВ) подстилок азотом (C:N составляет 32-60).

Степень аккумуляции углерода и азота в почвах, рассматриваемых в качестве условно-фоновых, зависит от гидрологических условий и гранулометрического состава почв. В исследуемых почвах запасы углерода в метровой толще варьируют от 2.9 до 12.1, а азота – от 0.1 до 0.7 кг м^{-2} . Наименьшими запасами углерода (2.9-3.4) характеризуются иллювиально-железистые подзолы, формирующиеся на песчаных отложениях. В подзолах литобарьерных запасы углерода составляют 8.6 кг м^{-2} . В подзолистых и торфяно-подзолисто-глеевых почвах его запасы составляют 9.2 и 12.1 кг м^{-2} соответственно. В той же последовательности почв возрастает вклад органогенных горизонтов в общие запасы углерода: от 17 – в подзолах, до 69 % – в торфяно-подзолисто-глеевых. Вклад органогенных горизонтов в общие запасы азота изменяется от 8-17 % в подзолах до 38-41 в подзолистых и торфяно-подзолисто-глеевых почвах.

Оценка содержания молекулярных фрагментов (данные ^{13}C -ЯМР спектроскопии) в составе органического вещества подстилок естественно развивающихся лесных экосистем выявила достаточно близкие значения. В составе верхних подгоризонтов лесных подстилок значительная часть углерода локализована в целлюлозе (диагностируемой по О-алкил замещенным алифатическим фрагментам) и алифатических структурах. Доля алифатических фрагментов (0-45 м.д.) изменяется в пределах 17-38 %, а углеводов (в частности целлюлозы) – 15-66 %. На углерод метоксильных групп (45-60 м.д.) и гемицеллюлозы (95-110 м.д.) приходится 1-9 и 5-13 % соответственно. Содержание карбоксильных групп не превышает 5 %, содержание углерода карбониллов и кетонов крайне низкое. Нижние подгоризонты подстилок почв условно-фоновых типов леса содержат 16-46 % алифатических, 12-66 % О-алкильных, 3-10 % метоксильных фрагментов. Содержание углерода гемицеллюлоз составляет 4-12 %, доля карбоксильных групп не превышает 6 %. Для сосняка бруснично-зеленомош-

ного (1ПР) с примесью в составе древесины березы, выявлено более высокая доля фенольных и ароматических структур. В подгоризонтах подстилки (Оч.), с преобладанием зеленых мхов и лишайников (1ВМ), характерна высокая доля алкильного углерода.

Состав ОВ подстилок при переходе от верхних к нижним подгоризонтам существенно изменяется. В сосняке лишайниковом (1Л) возрастает доля О-алкильного углерода и уменьшается доля соединений содержащих алкильные фрагменты. Вероятно, слабая водоудерживающая способность песков способствует выносу наиболее лабильных компонентов органических соединений и сохранению более устойчивых к разложению составляющих органического вещества. Состав ОВ ферментативного и гумифицированного подгоризонтов подстилки ельника черничного достаточно близкий. В сосняках бруснично-зеленомошных происходит возрастание углерода алкильных соединений и уменьшение доли целлюлозы. При этом в сосняке, характеризуемом присутствием березы в составе древостоя (1ПР), выявлено увеличение содержания ароматических структур. Доля метоксильных групп, вероятно определяемых содержанием лигнина, возрастает в нижнем горизонте подстилки фитоценоза 1ВМ.

В органогенных горизонтах лесных почв содержание С_{вс} варьирует от 3.6 до 19.3 мг г⁻¹ почв и составляет от 1.1 до 4.5 % от общего углерода почв. Увеличение содержания С_{вс} в верхнем горизонте подстилки рассматриваемых лесных почв происходит в ряду: сосняки лишайниковые (5.4 мг г⁻¹) < ельники чернично-зеленомошные (9.1 мг г⁻¹) < сосняки бруснично-зеленомошные (15 мг г⁻¹) < сосняки сфагновые (19 мг г⁻¹).

Глава IV. ПОЧВЫ ВЫРУБОК И ВТОРИЧНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ЛЕСОВ

4.1. *Структура территорий вырубок.* При сплошнолесосечных рубках обособляются участки, различающиеся характером воздействия на экосистемы и почвы. Наименее нарушенные участки принято называть пасечными. Участки с нарушениями почвенного покрова, возникающими при трелевке и складировании древесины, выделяют в трелевочные волокна (или технологические коридоры) и лесопогрузочные площадки. Площадь пасечных участков составляет 59-71, трелевочных волоков – 18-29 и погрузочных площадок – 6-15 % общей площади лесосеки (Паутов, Ильчуков, 2001). По нашим расчетам, площади механически нарушенных почв на территории среднетаежной подзоны составляют в среднем около 17 % площади лесосек (Дымов, 2018).

4.2. Изменение условий почвообразования на вырубках.

4.2.1. *Лесовозобновление на вырубках.* На вырубках происходит закономерная смена древостоя. Естественное лесовозобновление на молодых вырубках (в биоклиматических условиях средней тайги) осуществляется достаточно активно за счет возобновления березы и осины. Основная масса поросли появляется непосредственно в первые годы после рубки.

4.2.2. *Количество и состав растительного опада.* Смена древесной растительности на вырубках приводит к изменению состава опада. В первое десятилетие после рубки ельника черничного доминантная роль при возобновлении растительности принадлежит растениям напочвенного покрова.

По мере развития фитоценоза на вырубках к 36-38- летнему возрасту, его масса достигает значений, характерных для условно-фонового ельника. Увеличение в составе опада доли лиственных древесных растений обуславливает возрастание поступления на поверхность почв кальция, марганца, магния и других элементов (Дымов и др., 2012). В подстилке в ходе естественного лесовозобновления происходит возрастание доли углерода и азота быстроразлагающихся органических соединений, привносимых опадом лиственных пород (рис. 1). По данным твердофазной ^{13}C -ЯМР спектроскопии (рис. 2) от 21 до 47 % углерода рассматриваемых компонентов опада представлено алифатическими фрагментами, при крайне низком их содержании в разлагающейся древесине (рис. 3).

Наибольший вклад алифатических структур связан с хвоей пихты и листьями березы. Накопление углерода в составе О-алкильных фрагментов (продук-

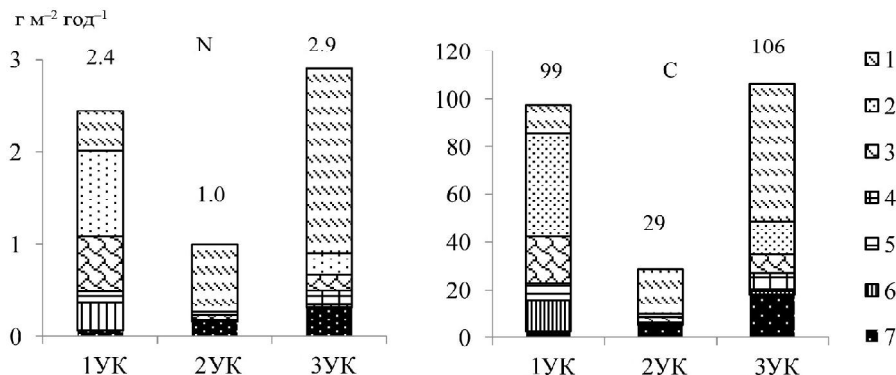


Рисунок 1. Поступление азота и углерода с основными компонентами опада древесного яруса ($\text{г м}^{-2} \text{ год}^{-1}$). Обозначения: 1 – листья березы, осины, рябины; 2 – хвоя ели; 3 – хвоя пихты; 4 – ветви осины; 5 – ветви ели; 6 – ветви пихты; 7 – ветви березы. Над столбцом указано суммарное количество элементов.

ты деградации целлюлозы), при разложении опада могут вносить все рассматриваемые компоненты, но особенно хвоя сосны (47 %), хвоя ели (29 %) и разлагающаяся древесина (38 %).

Поступление на поверхность почв углерода в составе метоксильных групп (продукты разложения лигнина) в значительной степени обуславливает валеж, но при этом, в различных компонентах опада их доля также суще-

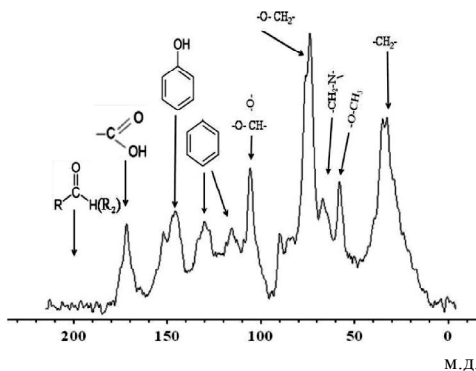


Рисунок 2. Пример спектра ядерного магнитного резонанса на ядрах изотопа углерода ^{13}C хвои ели (*Picea abies*).

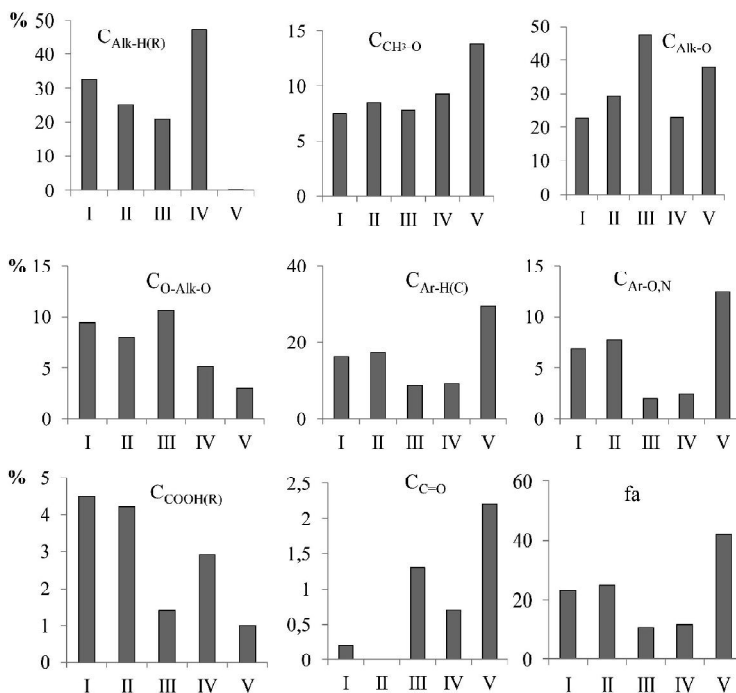


Рисунок 3. Содержание молекулярных фрагментов и степень ароматичности (fa) органического вещества компонентов растительного опада естественно развивающихся экосистем, %. Обозначения: I – листья березы; II – хвоя ели; III – хвоя сосны; IV – хвоя пихты; V – валеж ели.

ственна и изменяется от 7 до 9 %. Ароматические соединения поступают в составе всех компонентов опада, при максимальной доле в составе валежа (29 %) и минимальной в составе хвои пихты (9 %). Вклад карбоксильных групп наиболее весом в составе листьев березы и хвои ели (4 %).

Компоненты опада существенно различаются степенью ароматичности, возрастающей от 11 до 42 в ряду: хвоя сосны – хвоя пихты – листья березы – хвоя ели – валеж. Содержание Свос в них варьирует от 2.1 до 22.3 мг г⁻¹, наибольшие значения характерны для хвои ели, наименьшие – для валежины. По данным ЖХГВ компоненты опада различаются относительным содержанием гидрофобно-гидрофильных фракций в составе экстрагируемых ГВ. Максимальным содержанием гидрофильных соединений характеризуется разлагающаяся древесина, несколько меньшая доля характерна для хвои ели и хвои сосны.

Наибольшее содержание четвертой гидрофобной фракции, в которую попадают лигниноподобные соединения, также выявлено в составе разлагающейся древесины. В других компонентах опада содержание лигниноподобных веществ существенно ниже. Наиболее гидрофобные фракции органического вещества (пятой фракции) практически отсутствуют в листьях березы, хвое ели и сосны, но при этом, доля данных соединений возрастает в разлагающейся древесине.

4.2.3. *Температурный режим почв вторичных лесов.* Мониторинговые наблюдения за температурой позволили выявить, что период с температурой выше 5 °С на глубине 20 см увеличивается с 137 (1УК) до 155 суток (3УК). Наиболее значимые различия между почвами проявляются в амплитуде температурных колебаний в теплый период года. Максимальные значения суточных амплитуд зафиксированы на участке молодняка первого класса возраста, суточная амплитуда температуры почв которого составляет 8-10 °С, в то время как в условно-фоновом участке – 2-5 °С, а средневозрастном лиственно-хвойном насаждении – 1-3 °С. В целом, температурный режим почв во вторичных производных лесах потенциально способствует увеличению периода биологической активности и интенсификации процессов трансформации опада, по сравнению с условно-фоновым ельником.

4.2.4. *Химический состав вод малых рек.* Анализ химического состава водотоков, расположенных на территории коренного ельника (1УК) и средневозрастного лиственно-хвойного леса (3УК), показал, что они относятся к гидрокарбонатно-кальциевой группе природных вод (Алекин, 1953). Для химического состава вод характерна сезонность. Воды, отобранные в конце осени, ха-

рактизуются более высокими концентрациями химических элементов, за исключением железа, алюминия и марганца. Воды лесной реки производного леса содержат больше гидрокарбонат- и сульфат-ионов, кальция, магния, натрия и железа. Воды реки, характеризующей водосборную территорию коренного ельника, более кислые, в них меньше электропроводность. Для железа и алюминия наблюдаются близкие между сравниваемыми участками концентрации в раннелетний период и резкое их уменьшение в позднеосенний период в водах водосборной территории производного лиственно-хвойного леса. Вероятно, изменение геохимической активности органического вещества, а именно возрастание водорастворимых органических соединений способных к реакциям комплексообразования, на фоне проявления гидроморфизма на вырубках будет одним из основных факторов, влияющих на химический состав водотоков. При близком химическом составе почвообразующих пород в исследуемых лесных биогеоценозах можно предположить, что различия в химическом составе водотоков в значительной степени обусловлены сменой растительности в процессе сукцессии после рубок и изменением в биогеохимических циклах отдельных элементов (Futter et al., 2010; Богатырев, 2015).

4.3. *Почвы пасечных участков.* Для почв необлесившихся вырубок средней тайги характерно развитие временного гидроморфизма. Процессы заболачивания почв наиболее ярко выражены на водораздельных позициях (участки ПР). Существенное влияние на почвы оказывает близость трелевочных волоков, вызывающих переуплотнение верхних минеральных горизонтов, препятствующих латеральному движению влаги и активации процессов заболачивания. Для подзолистых почв Южного Тимана (УК) процессы переувлажнения также имеют место, но морфологически выражены в меньшей степени, благодаря более расчлененному рельефу. Возрастание мощности подстилок (рис. 4) сопровождается возрастанием влажности, развитием процессов оглеения и сегрегации железа.

Интенсивность развития глеевых процессов в подзолистых суглинистых почвах зависит от изначального увлажнения, положения в рельефе и подзоны. В почвах, развитых на склоновых позициях рельефа, либо мелиорируемых, в рамках лесохозяйственных мероприятий, оглеение выражено в значительно меньшей степени. В почвах вырубок и вторичных лесов уменьшается кислотность и возрастает степень насыщенности основаниями. Наиболее контрастно эти изменения выражены в подстилках почв, формирующихся на суглинистых

отложениях (УК). Уменьшение кислотности, происходящее на вырубках в первые годы, связано с удалением древостоя, прижизненные корневые выделения которого оказывают существенное подкисляющее действие. В зависимости от лесорастительных условий за 10-30 лет на вырубках происходит формирование вторичного древостоя, и большую роль в снижении кислотности начинает играть быстроразлагаемый опад с преобладанием листьев березы и осины.

Основные закономерности изменения в составе ОВ почв вторичных лесов, развивающихся на суглинистых отложениях, проявляются в возрастании доли гидрофильных компонентов ГВ (1 и 2 фракция) в подстилках по сравнению с условно-фоновыми. Тенденция к уменьшению содержания третьей и четвертой фракций ГВ, в значительной степени связана с изменением качественного и количественного состава растительного опада в ходе лесовозобновления.

В составе щелочерастворимого органического вещества минеральных горизонтов почв вторичных послерубочных лесов (УК, ПР) выявлено статистически достоверное возрастание Al-Fe-органических соединений в составе пятой хроматографической фракции. Вероятно, это связано с увеличением содержания низкомолекулярных органических соединений, способствующих извлечению соединений железа и алюминия из минеральных горизонтов почв.

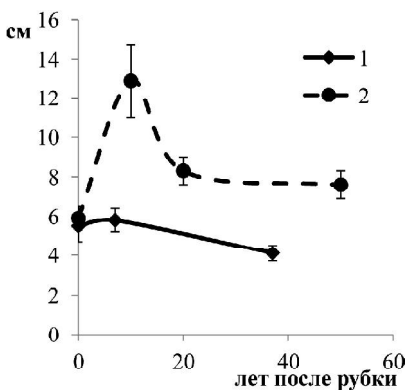


Рисунок 4. Изменение мощности органических горизонтов при естественном лесовозобновлении на вырубках ельников черничных на подзолистых почвах (1) и сосняков бруснично-зеленомошных на подзолах литобарьерных (2) ($n = 30$).

С другой стороны, это может определяться развитием оглеения, в результате которого происходит накопление соединений железа и алюминия, способных к реакциям комплексообразования (Зайдельман, 1998).

Можно предположить, что выраженный микропрофиль подзола, характерный для подзолистых почв ельников, в производных лесах сглаживается в результате поступления дополнительного количества органических веществ и промывного режима. Маломощный профиль элювиально-иллювиального расчленения Al-Fe-органических соединений в почве коренного ельника в почве участка 2УК «растягивается» по про-

филю, а в почве лиственнно-хвойного леса (ЗУК) переходит к типичному элювиально-иллювиальному.

В почвах таежных экосистем с характерным преимущественно напочвенным поступлением растительных остатков, водорастворимые продукты гумификации опада мигрируют по профилю с гравитационной влагой в минеральные горизонты профиля. Для всех исследуемых почв характерно преобладание в системе ПОВ гидрофильных фракций ГВ. Это наиболее наглядно прослеживается при анализе верхних генетических горизонтов почв.

Доля отдельных фракций ГВ в значительной степени определяется гидрологическими условиями функционирования почв. В условиях вырубок наблюдается временное увеличение гидроморфизма почв, что приводит к уменьшению периода нахождения этих почв в окислительных условиях. Поступление ОВ из подстилки сопровождается увеличением содержания органических соединений в почвенно-грунтовых водах, приводящих к усилению метаморфизма минеральных компонентов почв.

4.4. *Почвы трелевочных волоков и лесопогрузочных площадок.* По сравнению с естественными почвами и почвами пасечных участков, верхние (в среднем до глубины 30-50 см) генетические горизонты данных почв полностью трансформированы и представлены турбированными горизонтами – смесью минеральных горизонтов, подстилок, порубочных остатков, фрагментов генетических горизонтов, привнесенных с других частей лесосеки. В ряде исследуемых механически нарушенных почв выявлено наличие на глубине 20-40 см погребенного горизонта с порубочными остатками и различными подгоризонтами подстилок. Верхние минеральные горизонты уплотнены и препятствуют латеральной миграции почвенно-грунтовых вод, в верхней части профиля четко диагностируются процессы оглеения. Для рассматриваемых почв часто наблюдается привнесение материала на гусеничных и колесных агрегатах из почвенных горизонтов всей лесосеки. Возможно привнесение материала при планировке поверхностей тяжелой агрегатной техникой после завершения работ на делянках. Почвы, для которых характерно турбирование (перемешивание) верхних генетических горизонтов, мы предлагаем относить к турбоземам детритным. Диагностический горизонт TURcwd – неоднородный по окраске (от серого до темно-серого), представлен фрагментами горизонтов исходной почвы и лесной подстилки. Переуплотнен, доля древесных остатков (древесные ветви, корни, вершины стволов, части пней) различного размера и степени разложения составляют от 5 до 40 % объема горизонта. В наиболее нарушенных

участках переуплотнение приводит к формированию крупноплитчатой структуры, педы которых покрыты ярко-бурыми органоминеральными пленками.

Морфологические признаки механических нарушений сохраняются в почвах достаточно длительное время – по нашим наблюдениям до 45 лет, но при этом хорошая выраженность признаков может свидетельствовать о том, что они будут диагностироваться еще достаточно длительное время. Можно предположить, что в дальнейшем турбированные горизонты могут быть трансформированы в хорошо выраженные гумусово-аккумулятивные горизонты.

В верхних минеральных горизонтах механически нарушенных почв наблюдается повышенное, по сравнению с верхними минеральными горизонтами естественных почв, содержание биофильных элементов. В частности денсиметрические фракции свободного и окклюдированного органического вещества турбоземов характеризуются более высокими концентрациями, как углерода, так и азота. Но при этом, эти фракции характеризуются более узкими отношениями C:N, что свидетельствует о включении в состав рассматриваемых фракций листовых компонентов опада и обогащении ПОВ азотом. Выявлено, что наибольший рост содержания углерода происходит за счет тяжелой фракции, при этом вклад свободного и окклюдированного ОВ в общее содержание также значителен, по сравнению с почвой условно-фоновой участка. В почвах механически нарушенных участков накапливается значительное количество углерода слаборазложившихся древесных остатков, которое в течение длительного времени разлагается и обогащает биофильными элементами верхние и подстиляющие погребенные горизонты. Сравнение содержания молекулярных фрагментов в составе ОВ денсиметрических фракций и подгоризонтов подстилок показало, что его состав имеет некоторые отличия (рис. 5). Для подгоризонтов подстилок выявлен больший вклад алифатических фрагментов, по сравнению с денсиметрическими фракциями. Кроме этого для денсиметрических фракций выявлено уменьшение отношения сигнала алкильного углерода к О-алкильным фрагментам, что согласно (Baldock et al., 1997) может свидетельствовать о меньшем разложении компонентов опада в составе денсиметрических фракций по сравнению с органическим веществом подстилок. Для фракций свободного и окклюдированного органического вещества характерен больший вклад метоксильного углерода, содержание которого определяется содержанием лигнина. В ОВ денсиметрических фракций выявлено более высокое содержание О-алкильных фрагментов, которые свидетельствуют о большей доле целлюлозы.

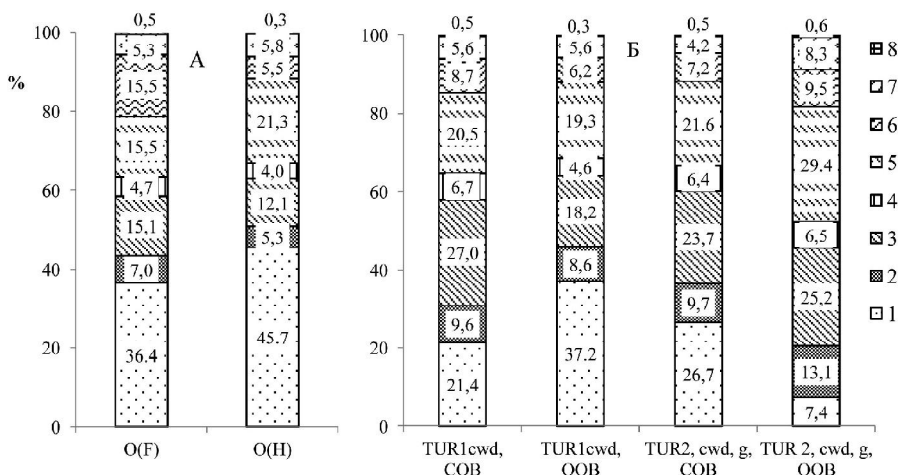


Рисунок 5. Относительное содержание молекулярных фрагментов в составе подстилок подзола литобарьерного (А) и фракций свободного и окклюдированного органического вещества верхних горизонтов турбозема детритного (Б). Условные обозначения: 1 – $C_{Alk-H(R)^2}$; 2 – C_{CH_3-O} ; 3 – C_{Alk-O} ; 4 – $C_{O-Alk-O}$; 5 – $C_{Ar-H(C)^2}$; 6 – C_{Ar-O,N^2} ; 7 – $C_{COOH(R)^2}$; 8 – $C_{C=O}$.

Глава V. ПОЧВЫ ПОСТПИРОГЕННЫХ ЛЕСОВ

5.1. *Древесная растительность и растения напочвенного покрова постпирогенных экосистем.* Воздействие пожаров на растительные сообщества разнонаправлено влияет на развитие древесного яруса. Так, при беглых низовых пожарах не всегда происходит полное повреждение древостоя. В постпирогенных сосняках лишайниковых (2-5L) и бруснично-зеленомошных (2-6BM) в ходе беглых низовых пожаров повреждено около 20-30 % древостоя. Пирогенное воздействие на древесную растительность в полугидроморфных ландшафтах (2-4M) приводит к вывалу до 30 % деревьев древостоя. При этом нарушения приурочены к участкам очагов, на которых происходит выгорание подстилок вблизи корневых систем деревьев. Пожары в ельниках (2-4S) способствуют более значительным нарушениям древесного яруса, по сравнению с сосняками. В темных хвойных лесах пожары приводят к гибели елового древостоя и возобновлению лиственными породами с преобладанием березы и осины. На наиболее поздних стадиях постпирогенных сукцессий (100-150 лет) в первый ярус выходит ель и сосна. На первых этапах в напочвенном покрове преобладает иван-чай, кукушкин лен, черника. На более поздних стадиях пост-

пирогенных сукцессий состав растений напочвенного покрова приближается к условно-фоновым участкам.

5.2. Морфологические свойства почв гарей и горельников. Изменение морфологических свойств почвы после пожара связано с выгоранием подстилки и крупных древесных остатков, располагающихся на поверхности почвы. В верхней части профиля образуется пирогенный горизонт (Qруг), или сохраняется естественный, но с пирогенными признаками (Еруг, ЕLруг и др.). Необходимо отметить, что влияние пожаров в почвах прослеживается до глубины 20-30 см. В срединных и нижних минеральных генетических горизонтах морфологические различия между условно-фоновыми и почвами гарей практически отсутствуют или перекрываются неоднородностью отложений. В некоторых случаях отмечено возрастание плотности иллювиальных и пирогенных горизонтов. Морфологически заметное потемнение верхних минеральных горизонтов почв на участках гарей подтверждается увеличением содержания в них общего органического углерода и азота.

5.3. Физические и химические свойства почв постпирогенных лесов. Различия в физико-химических свойствах почв, пройденных пожаром, проявляются в возрастании значения pH, степени насыщенности основаниями в верхних органогенных и минеральных горизонтах. Уменьшение кислотности подстилок в значительной степени связано с поступлением продуктов пиролиза (углей, золы), образующихся в результате пожара. В постпирогенных почвах, по сравнению с условно-фоновыми участками, наблюдается тенденция увеличения кислотности в минеральных горизонтах, что совпадает с некоторым возрастанием в них водорастворимых органических соединений.

5.4. Почвенное органическое вещество гарей и горельников. 5.4.1. Содержание и профильное распределение углерода, азота, отношения C:N. В верхних минеральных горизонтах почв сосняков лишайниковых, характеризующихся обильным присутствием продуктов пирогенеза, в частности недоокисленными продуктами горения, выявлено возрастание содержания общего углерода. Некоторое увеличение содержания углерода выявлено и для подзолистых и иллювиальных горизонтов.

В почвах постпирогенных сосняков бруснично-зеленомошных (2-6BM), в которых происходит частичное выгорание лесных подстилок, возрастание содержания углерода в минеральных горизонтах происходит преимущественно за счет растворимых и мелкоразмерных углистых частиц способных к мигра-

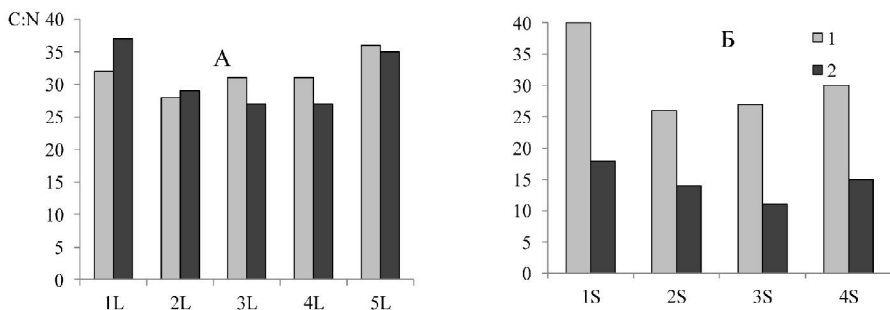


Рисунок 6. C:N отношение в верхних подгоризонтах подстилок (1) и верхних минеральных горизонтах (2). А – сосняки лишайниковые, Б – ельники чернично-зеленомошные; обозначения участков те же, что и в таблице 1.

ции в водных растворах. Нижняя часть сохранившихся подстилок играет роль фильтра, задерживающего попадание большого числа углистых включений в минеральные горизонты. Одним из наиболее чувствительных параметров к пирогенному воздействию является соотношение углерода и азота. Для всех исследуемых пирогенных почв наблюдается существенное снижение соотношения C:N в горизонтах испытавших пирогенное воздействие (рис. 6). В дальнейшем происходит плавное возрастание отношения C:N. Схожие закономерности прослеживаются и при анализе минеральных горизонтов, испытавших прямое пирогенное воздействие. В почвах же с частично выгоревшей подстилкой, в первые месяцы наблюдается обратная закономерность – в некоторых случаях (2-3BM, 5BM) в минеральных горизонтах отношение C:N либо возрастает, либо остается неизменным.

5.4.2. Запасы углерода и азота в постпирогенных почвах. В постпирогенных почвах наблюдается перераспределение соотношения элементов, сосредоточенных в подстилках и минеральных горизонтах. Доля углерода подстилки фонового участка сосняка (1BM) составила 51-60 % общих запасов. В почве сосняка, пройденного пожаром (2BM), она уменьшилась до 30 %. Такая же закономерность выявлена и при оценке запасов азота в подстилке: 18-24 % – в почве условно-фоновой участка, 12 % – в почве гари. С одной стороны, это определяется выгоранием подстилки, а с другой, связано с обогащением минеральных горизонтов продуктами горения. Схожие закономерности изменения запасов углерода и азота выявлены и для постпирогенных сосняков лишайниковых (рис. 7).

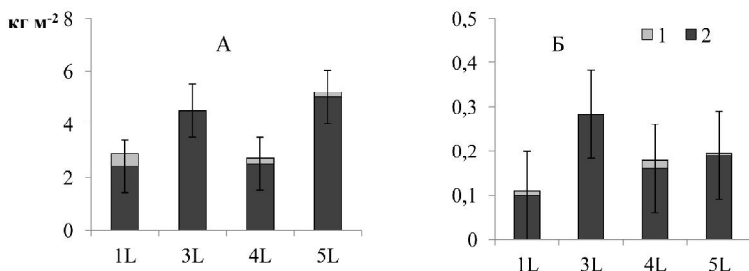


Рисунок 7. Запасы углерода (А) и азота (Б) в почвах сосняков лишайниковых. 1 – подстилка; 2 – минеральные горизонты; обозначения участков как в таблице 1. Средние значения ($n=5$) и среднеквадратичные отклонения.

5.4.3. Гидрофильные и гидрофобные свойства почвенного органического вещества. Пирогенез приводит к изменению содержания гидрофильно-гидрофобных фракций щелочерастворимого органического вещества в первые месяцы после пожара. На примере сравнения участков 1ВМ и 2ВМ (рис. 8), показано, что наибольшие различия проявляются в уменьшении в постпирогенной почве первой, наиболее гидрофильной фракции, при некотором возрастании содержания второй фракции. Возрастает доля лигниноподобных соединений четвертой фракции. Вместе с тем, степень гидрофильности в подстилке остается близкой к соответствующему горизонту фонового участка. В подзолистом горизонте Еруг, так же как в соответствующем горизонте контрольного участ-

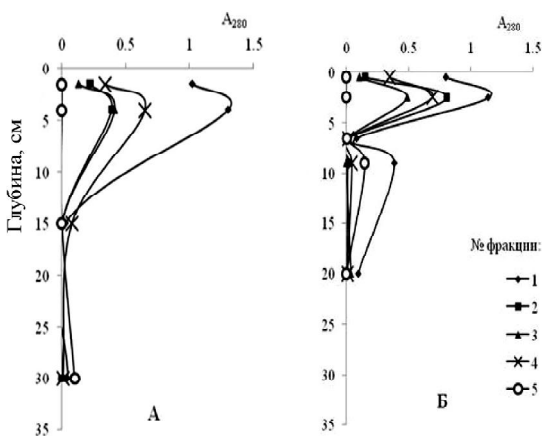


Рисунок 8. Распределение хроматографических фракций ГВ из верхних горизонтов. А – условно-фоновый (1ВМ), Б – постпирогенный (2ВМ).

ка, наблюдается минимальное содержание всех амфифильных фракций. Существенно изменяется значение показателя D_h , по сравнению с соответствующим горизонтом контрольного участка, благодаря увеличению содержания гидрофильных фракций. В горизонте Вhi(руг) также наблюдается увеличение наиболее гидрофильной фракции, что на фоне присутствия оксалатрастворимых форм железа

приводит к возрастанию фракции связанной железом. В горизонте BF выявлено изменение показателя D_h , по сравнению с однотипным горизонтом разреза 1BM. Вероятно, это в значительной степени связано, не столько с уменьшением концентрации гидрофобных фракций, сколько с существенным возрастанием концентрации наиболее гидрофильных соединений, представленных продуктами горения растительных остатков (рис. 8). Показано, что в ходе дальнейшей постпирогенной сукцессии происходит восстановление соотношения гидрофильных и гидрофобных фракций в составе щелочерастворимого ОВ постпирогенных почв. Уже через два года после пожара по данному показателю почвы близки к условно-фоновым.

5.4.4. Содержание и состав денсиметрических фракций. Результаты денсиметрического разделения горизонтов Е и BF почвы условно-фоновой участка (1L) показали, что основную долю (97-98 %) составляют тяжелые фракции с плотностью более 2.2 г см^{-3} ($\text{TF}_{>2.2}$), содержание фракций $\text{COB}_{<1.6}$ и $\text{OOB}_{<1.6}$ крайне низкое. Но при этом, основной вклад в общее содержание углерода вносят именно фракции свободного и окклюдируемого органического вещества, поскольку в них сосредоточено значительное количество углерода и азота. В верхних минеральных горизонтах почв лесов, пройденных пожарами, происходит существенное изменение содержания углерода и азота. Доля $\text{COB}_{<1.6}$ возрастает до 3-8 %, доля $\text{OOB}_{<1.6}$ составляет от 1.8 до 2.4 %, доля тяжелых ($\text{TF}_{1.6-2.2}$ и $\text{TF}_{>2.2}$) фракций – от 88-92 %.

Фракции $\text{COB}_{<1.6}$ в значительной степени обогащены пирогенными продуктами горения и частичного окисления продуктов горения. Во фракциях $\text{COB}_{<1.6}$ и $\text{OOB}_{<1.6}$ содержатся высокие концентрации углерода – до 32-44 %. Диагностическим является отношение C:N. Наиболее низкое отношение было выявлено для фракции $\text{COB}_{<1.6}$ участка двухлетней гари. В почвах 10- и 16-летних горельников наблюдаются близкое по сравнению с почвой условно-фоновой участка C:N отношение.

Выявлено, что возрастание углерода в минеральных горизонтах почв в существенной степени связано с пирогенными соединениями, находящимися в свободном, несвязанном состоянии (рис. 9).

Пожары в лесах, формирующихся на легких песчаных почвах в условиях хорошего дренажа и промывного режима, не способствуют закреплению пирогенного углерода в верхних минеральных горизонтах в виде прочных органо-минеральных комплексов. Вероятно, наибольшая часть формирующихся при

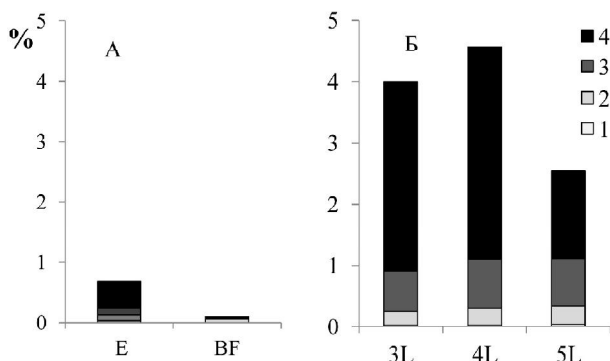


Рисунок 9. Вклад углерода отдельных денсиметрических фракций верхних генетических горизонтов в общее содержание углерода. Обозначения: А – подзол иллювиально-железистый (1L), Б – почвы сосняков лишайниковые, после пожара 2- (3L), 10- (4L) и 16- (5L)-летней давности; 1 – ТФ_{>2,2}; 2 – ТФ_{1,6-2,2}; 3 – ООВ_{<1,6}; 4 – СОВ_{<1,6}.

пожарах продуктов горения мигрирует в поверхностные водоемы в первые годы после пожара. В верхней части почвенных горизонтов остаются наименее растворимые, наиболее гидрофобные продукты пиролиза.

5.4.5. Краевой угол смачивания почв и денсиметрических фракций. Следствием воздействия пиролиза является изменение смачиваемости поверхности твердой фазы почв. Наибольшие различия установлены для верхних минеральных горизонтов. По сравнению с контрольным вариантом иллювиально-железистого подзола сосняка бруснично-зеленомошного (1ВМ), краевой угол смачивания твердой фазы почв сосняков, пройденных низовым устойчивым (50 дней после пожара – 2ВМ) и низовым беглым (48 дней после пожара, 3ВМ), увеличивается в 1.6-1.9 раза. Аналогичные закономерности выявлены для иллювиальных горизонтов – увеличение значения КУС в 4.9-5.5 раза.

В подзолах иллювиально-железистых, формирующихся под сосняками лишайниковыми, и подзолах пирогенных участков, пройденных пожарами 2, 10- и 16 лет назад, наибольшие различия краевых углов смачивания же выявлены для верхних пирогенных горизонтов (рис. 10А). Сравнение краевых углов смачивания поверхности твердой фазы денсиметрических фракций, показало, что максимально гидрофобной поверхностью обладают фракции свободного и окклюдированного органического вещества, как в условно-фоновых, так и пирогенных почвах (рис. 10Б).

В ходе поспирогенных сукцессий происходит возрастание краевого угла смачивания поверхности фракции ТФ_{1,6-2,2}. Пирогенез не влияет на смачиваемость

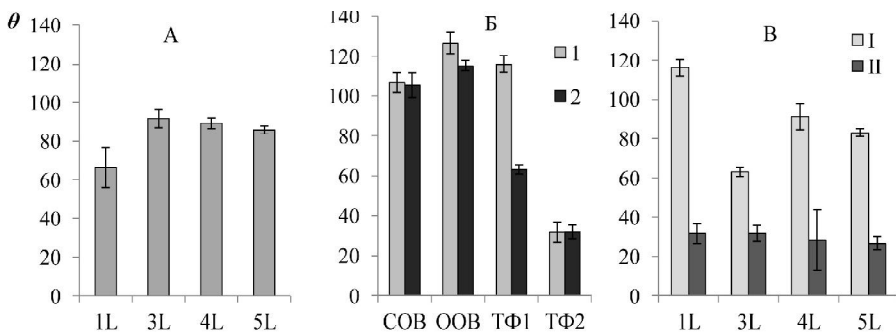


Рисунок 10. Краевые углы смачивания (θ) твердой фазы верхних минеральных горизонтов почв сосняков лишайниковых (А), поверхности денсиметрических фракций (Б) подзолистого (1) и пирогенного горизонта двухлетней гари (2), краевые углы тяжелых денсиметрических фракций (В) (I – ТФ_{1,6-2,2}, II – ТФ_{>2,2}) в ходе постпирогенной сукцессии (n=10), интервал погрешности – среднее квадратичное отклонение. Обозначение участков как в таблице 1.

мость поверхности фракции ТФ_{>2,2} фракции (рис. 10В). Краевой угол смачивания поверхности твердой фазы определяется общим содержанием углерода ($R^2=0.79$) и описывается логарифмической функцией (рис. 11). В ходе постпирогенных сукцессий растительности происходит снижение краевого угла смачивания твердой фазы пирогенных горизонтов. Первоначальное (в первые месяцы после пожаров) повышение гидрофобности твердой фазы подзолистого и иллювиального горизонта, в условиях промывного режима, постепенно уменьшается.

Таким образом, пожары приводят к гидрофобизации поверхности твердой фазы почв, что потенциально может влиять на водно-физические свойства поверхностных горизонтов и эрозионную устойчивость почв на склонах, что требует дополнительных исследований.

5.4.6. Содержание ПАУ в почвах гарей и горельников. Пирогенез в бореальных лесах является одним из важнейших факторов, обуславливающих поступление полиаренов в таежные экосистемы. В почвах естественно развивающихся лесных

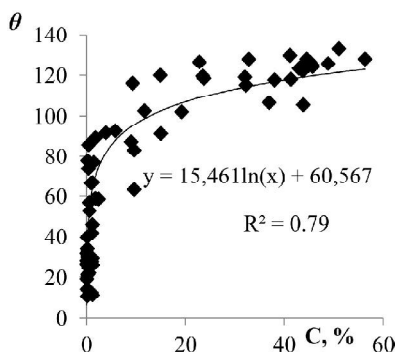


Рисунок 11. Зависимость краевого угла смачивания (θ) почв и денсиметрических фракций от содержания углерода (n=65).

экосистем наблюдается аккумуляция полиаренов в подстилках и низкое содержание в минеральных горизонтах. Влияние пожаров на содержание ПАУ в почвах проявилось в существенном увеличении концентрации рассматриваемых компонентов в пирогенном подгоризонте подстилки. Содержание канцерогенных полициклических углеводородов в почвах лесов, пройденных пожарами, возрастает в 1.5-8.0 раза по сравнению с условно-фоновыми почвами. При этом происходит увеличение как легких (2-3-ядерных полиаренов), так и более тяжелых соединений. В горизонте Q_{rug}(L) наиболее существенно возросли концентрации хризена, флуорена, нафталина, пирена и антрацена.

Несмотря на то, что с момента пожара прошло всего около двух месяцев, в горизонте B_{hi}(_{rug}) участка 2ВМ наблюдается увеличение общего содержания полиаренов, вероятно, за счет водной миграции. При изучении почвы девятилетней гари (2S) выявлено, что в ней сохраняется повышенное содержание ПАУ. Наибольшие различия с фоновым участком выявлены в подстилке, в которой наблюдается возрастание всех ПАУ, за исключением фенантрена и антрацена. Увеличение концентрации более водорастворимых полициклических углеводородов обнаружено в срединных минеральных горизонтах почв (BEL) геохимических подчиненных ландшафтов. Оценка содержания полиароматических соединений в составе денсиметрических фракций участков (1-5 L) показала, что наибольшими концентрациями характеризуются фракции с плотностью менее 1,6 г см⁻³, как в условно-фоновой, так и пирогенных почвах (табл. 2). Необходимо отметить, что для фракции COB_{<1.6} условно-фоновой участка характерно достаточно высокое суммарное содержание ПАУ, что потенциально может указывать на предыдущие пожары, которые могли быть на данном участке. Суммарное содержание ПАУ в тяжелой фракции условно-фоновой участка низкое и составляет 45 нг г⁻¹. Наибольшие концентрации выявлены в легких фракциях органического вещества 2-летней гари. В тяжелых денсиметрических фракциях почв гарей так же наблюдается возрастание по сравнению с однотипной фракцией условно-фоновой почвы общего содержания ПАУ. При этом только небольшая часть ПАУ адсорбируется на поверхности твердой фазы почв в составе верхних минеральных горизонтов (Геннадиев и др., 1996).

По сравнению с условно-фоновой почвой возрастание происходит за счет нафталина, флуорена и фенантрена. Вероятно, содержание ПАУ в денсиметрических фракциях (COB_{<1.6} и OOB_{<1.6}) можно использовать в качестве «маркеров» наличия пожаров и их интенсивности благодаря более высокой концентрации, чем в почвах в целом.

Таблица 2. Содержание ПАУ в денсиметрических фракциях и постпирогенных почвах (нг г⁻¹ почвы)

Горизонт	Образцы/ фракция	2-ядерные			3-ядерные			4-ядерные				5-ядерные				Сумма
		НАФТ	АЦЕ	ФЛУ	ФЕН	АНТ	ФЛА	ПИР	БААНТ	ХРИ	ББФЛА	БкФЛА	БаПир	ДБААНТ	БгПЕР	
Е	почва	н.о.	н.о.	41±17	27±13	1,2±0,6	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	29±13	
	СОВ _{≤16}	410±210	11±4	580±150	140±30	12±6	130±50	120±60	8±4	130±40	53±22	14±7	21±11	9±4	270±60	
	ТФ _{≤16}	н.о.	н.о.	23±9	7±4	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	30,0	
Q _{руг}	почва	63±30	н.о.	84±22	43±22	2,1±1,1	н.о.	н.о.	н.о.	4,4±2,3	19±8	1,8±0,9	2,3±1,2	н.о.	14±6	
	СОВ _{≤16}	740±260	33±13	1210±220	610±140	39±9	220±80	150±70	6±3	84±29	340±90	21±10	39±19	39±19	47±21	
	ООВ _{≤16}	1170±190	51±20	1700±300	900±200	44±11	100±40	70±30	9±4	90±30	320±80	22±11	31±15	31±15	4539,0	
Q _{руг}	ТФ _{≤16}	23±11	н.о.	50±20	27±13	1,7±0,9	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	1,1±0,6	н.о.	6±3	
	почва	150±80	н.о.	170±40	121±27	6±3	23±11	н.о.	н.о.	19±10	11±4	4,3±2,1	8±4	н.о.	7±3	
	СОВ _{≤16}	450±220	18±7	660±170	390±80	25±6	58±27	30±14	7±3	70±40	100±26	9±4	27±14	9±4	37±16	
Q _{руг}	ООВ _{≤16}	470±230	18±7	630±160	410±90	40±10	100±40	70±30	н.о.	80±40	60±25	10±5	26±13	14±7	98±23	
	ТФ _{≤16}	50±25	н.о.	110±30	47±23	2,3±1,2	н.о.	н.о.	н.о.	3,1±1,6	н.о.	н.о.	1,1±0,6	н.о.	н.о.	
	почва	42±21	н.о.	54±21	34±17	1,0±0,5	н.о.	н.о.	н.о.	3,9±2,0	н.о.	н.о.	1,3±0,7	н.о.	9±4	
Q _{руг}	СОВ _{≤16}	410±210	15±6	630±160	480±110	22±5	67±25	70±30	36±15	80±40	113±29	9±5	29±14	12±6	28±12	
	ООВ _{≤16}	400±200	27±11	740±190	580±130	26±6	120±50	70±30	6±3	90±30	31±13	12±6	24±12	24±12	150±40	
	ТФ _{≤16}	н.о.	н.о.	36±14	16±8	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	12±5	
Q _{руг}	СОВ _{≤16}	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	
	ТФ _{≤16}	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	
	ТФ _{≤16}	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	

Условные обозначения: НАФТ – нафталин, АЦЕ – аценафтален, ФЛУ – флуорен, ФЕН – фенантрен, АНТ – антрацен, ФЛА – флуорантен, ПИР – пирен, БаАНТ – бенз[а]антрацен, ХРИ – хризен, БьФЛА – бенз[б]флуорантен, БкФЛА – бенз[к]флуорантен, БаПир – бенз[а]пирен, ДБаАНТ – дибенз[а, h]антрацен, БгhПЕР – бенз[ghi]перилен. «н.о.» – не обнаружено. ± – погрешность определения при P=0.95.

5.4.7. Углерод и азот водорастворимых соединений. В почвах участков, подвергнувшихся пожару, происходят значительные изменения содержания углерода Свос. Основная тенденция заключается в уменьшении его концентрации в горизонтах, испытывающих прямое воздействие огня: верхние подгоризонты подстилок и вновь образованные пирогенные горизонты. В подстилках сосняков бруснично-зеленомошных, пройденных беглыми низовыми пожарами, происходит уменьшение углерода Свос в 2.6-5.5 раза. Подгоризонты подстилок, не подвергнувшиеся прямому воздействию огня – преимущественно ферментативные подгоризонты, сохраняют близкое к почве условно-фоновому лесу содержание Свос. Выявлено возрастание содержания углерода Свос в верхних минеральных горизонтах в 1.6-3 раза по сравнению с условно-фоновой почвой, при этом его доля от общего углерода уменьшается как в подстилках, так и минеральных горизонтах.

В почвах сосняков лишайниковых выявлено уменьшение содержания Свос в 7-12 раз через 1 год после пожара, и в два-четыре раза на участке 2-летней гари. При восстановлении растений напочвенного покрова (4L, 5L) содержание Свос близко к значениям условно-фоновой почвы. При этом выявлено, что в пирогенных подстилках доля Свос (к С общ.) уменьшается, а в минеральных горизонтах – возрастает.

В почве ельника чернично-зеленомошного, пройденного верховым пожаром девять лет назад, уничтожившим подстилку полностью, выявлено более низкое по сравнению с почвой условно-фоновому лесу содержание углерода Свос, как в органогенных, так и минеральных горизонтах. В сосняках полугидроморфных ландшафтов воздействие пирогенного фактора максимально на участках с выгоревшими органогенными горизонтами. На участках, пройденных пожарами за 1 год до отбора образцов, содержание углерода Свос составляет 0.7-0.8 мг г⁻¹ почвы, что в 24-27 раз меньше, чем в подгоризонте очеса почвы условно-фоновому ландшафта. Но при этом, на участке, пройденном пожаром три года назад, содержание углерода Свос меньше чем на контрольном участке в 9 раз. Существенных изменений в абсолютном и относительном содержании в минеральных горизонтах не выявлено.

Таким образом, выявлено, что пожары в хвойных лесах приводят к существенному изменению содержания углерода в лесных подстилках. Наибольшие изменения происходят в пирогенных горизонтах, в них содержание углерода Свос уменьшается в 3-27 раза в зависимости от фитоценоза, особеннос-

тей пожара и времени, прошедшего с момента воздействия (рис. 12). Подгоризонты подстилок не подвергнувшиеся прямому воздействию огня, сохраняют близкие к условно-фоновым почвам концентрации. В первый год после пожара происходит возрастание углерода Свос в минеральных горизонтах. Изменение содержания Свос в таежных почвах после пожара в значительной степени опреде-

ляется интенсивностью пожара, а также факторами последующего возобновления растений напочвенного покрова, как основных продуцентов водорастворимых органических соединений.

5.4.8. *Молекулярные фрагменты в составе органического вещества почв и денсиметрических фракций.* Выявлено, что пожары способствуют изменению относительного состава молекулярных фрагментов в органическом веществе органогенных горизонтов. В подгоризонте (L) с доминированием свежего опада выявлено возрастание доли алифатических фрагментов на участках, пройденных пожаром два (3L) и 10 лет (4L) назад. Низкая доля ароматических фрагментов в составе этого горизонта, вероятно связана с залповым постпирогенным поступлением опада хвои сосны, которая в значительной степени влияет на свойства почвенного органического вещества. Доля алифатических фрагментов в верхних подгоризонтах подстилок составляет 56-67 %, в то время как в подстилке условно-фоновой участка ее доля чуть более 11 %. В составе верхних подгоризонтов подстилок на гарях выявлено возрастание доли метоксильных групп при снижении О-алкильных фрагментов, в значительной степени представленных целлюлозными фрагментами. Наиболее четко отражает последствия пожара в почвах состав пирогенного горизонта леса, пройденного пожаром два года назад.

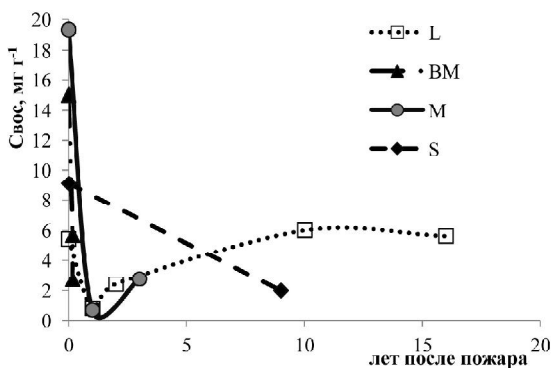


Рисунок 12. Содержание углерода водорастворимых соединений в верхних подгоризонтах подстилок исследуемых почв. L – сосняки лишайниковые; BM – сосняки бруснично-зеленомошные; M – сосняки сфагновые; S – ельники кустарничково-зеленомошные.

Состав молекулярных фрагментов отражает приблизительно равное содержание алифатических, О-алкильных и ароматических групп, при присутствии фенольных, карбоксильных и альдегидных групп в составе органогенных горизонтов условно-фоновых и постпирогенных лесов. По истечении 10 лет после прохождения пожара состав верхних и нижних подгоризонтов подстилок сближается с условно-фоновым, но при этом, сохраняется доминирование алифатических фрагментов в структуре органического материала. Вероятно, содержание алифатических фрагментов может быть результатом значительного угнетения микробного сообщества и неполного его восстановления даже через 10 лет после пожара.

Бликие результаты были получены и при изучении последствий пожаров в сосняках бруснично-зеленомошных. В верхних горизонтах почвы леса, пройденного беглым низовым пожаром, происходит существенное выравнивание содержания алифатических, О-алкильных и ароматических фрагментов при присутствии метоксильных и молекулярных фрагментов гемицеллюлоз. Выявлено, что пожары приводят к возрастанию вклада ароматических фрагментов, наибольшая доля ароматических структур характерна для легких фракций (табл. 3).

Содержание молекулярных фрагментов в денсиметрических фракциях существенно отличается в зависимости от характера воздействия и времени, прошедшего с момента пожара. Фракции $COB_{<1,6}$ почвы условно-фоновой участка на 78 % представлены углеродом алифатических соединений, при достаточно высокой доле углерода ароматических соединений (табл. 3). В составе же этой фракции почвы сосняка лишайникового, пройденного пожаром два года назад, доминируют ароматические структуры, возрастает доля фенольного углерода и углерода карбоксильных групп, а доля алифатических структур снижается. При этом состав органического вещества фракций $COB_{<1,6}$ и $OOB_{<1,6}$ в почвах 10- и 16-летних гарей близок к условно-фоновому. В них доминируют алифатические фрагменты, доля ароматических фрагментов существенно снижается. Во фракции $OOB_{<1,6}$ почвы условно-фоновой участка меньше доля алкильных соединений углерода при некотором возрастании О-алкильных групп, что свидетельствует о включении в процессы гумификации древесного опада. Оклюдированное органическое вещество характеризуется высокой долей ароматических соединений. Состав фракций $OOB_{<1,6}$ в почвах участков, пройденных пожарами от двух до 16 лет назад, остается практически постоян-

Таблица 3. Содержание молекулярных фрагментов в составе органического вещества денсиметрических фракций, % (по данным ¹³C-ЯМР спектроскопии)

Горизонт (фракция)	C _{Alk-H(R)}	C _{CH3-O}	C _{Alk-O}	C _{O-Alk-O}	C _{Ar-H(C)}	C _{Ar-O,N}	C _{COOH}	C _{C=O}	fa	алкил/ О-алкил
Почва условно-фонового участка (сосняк лишайниковый), 1L										
E (COB _{<1.6})	58.0	6.3	11.7	1.0	18.6	1.0	2.5	0.9	19.6	3.1
E (OOb _{<1.6})	44.2	7.8	19.4	4.1	17.8	2.2	2.0	2.4	20.0	1.4
Почва сосняка лишайникового, пройденного пожаром два года назад, 3L										
Q руг (COB _{<1.6})	24.2	8.0	14.2	7.4	37.8	3.7	0.8	3.9	41.5	0.8
Qруг (OOb _{<1.6})	69.7	5.2	14.3	1.4	4.4	2.8	1.7	0.4	7.2	3.3
Почва сосняка лишайникового, пройденного пожаром 10 лет назад, 4L										
Qруг (COB _{<1.6})	40.5	6.5	17.9	14.8	16.6	1.8	1.0	0.9	18.4	1.0
Qруг(OOb _{<1.6})	48.0	7.6	17.6	3.5	17.6	1.9	1.8	2.0	19.5	1.6
Почва сосняка лишайникового, пройденного пожаром 16 лет назад, 5L										
Qруг (COB _{<1.6})	43.8	6.6	17.4	4.4	22.6	3.0	1.3	1.0	25.6	1.5
Qруг (OOb _{<1.6})	53.4	6.6	14.4	1.9	18.4	1.2	2.3	1.8	19.6	2.3

ным. Основу составляют алкильный углерод – 68-85 %, при этом в ходе постпирогенной сукцессии его доля возрастает, что вероятно связано с залповым постпирогенным поступлением хвои, богатой алифатическим структурами. Пожары приводят к существенным изменениям содержания молекулярных фрагментов в составе почвенного органического вещества. Изменения зависят от интенсивности пожара, полного или частичного выгорания подстилок, поступления дополнительного опада, а также компонентов опада, подвергшихся не полной деструкции. Влияние пирогагенеза достаточно хорошо диагностируется в денсиметрических фракциях.

Глава VI. ПОЧВЫ ПОСТАГРОГЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ

6.1. *Динамика растительности.* В ходе постагрогенных сукцессий происходит восстановление естественной зональной растительности. Заращение территорий залежей происходит древесными породами, преобладающими на прилегающих территориях. На примере основной хроносерии (1-4AC) выявлено, что на первых этапах происходит активное возобновление лиственными породами, в частности, березой и осинкой. На более поздней стадии (участок 4AC) в первый ярус выходит ель.

6.2. *Морфологические свойства.* Трансформация дернового горизонта и формирование подстилки отражает основные этапы сукцессионных смен растительности. Анализ морфологических свойств показывает, что изменения, связанные с сельскохозяйственным освоением, а именно выраженный агроу-

мусовый горизонт, сохраняется в почвах длительное время – как минимум до 85 лет. На участке, выведенном из использования в 1930-х годах, присутствует элювиальный горизонт. С одной стороны, его наличие в профиле может быть обусловлено меньшей глубиной вспашки, с другой – интенсификацией подзолообразовательного процесса в ходе формирования древостоя. На участке семилетней залежи (участок 2АС), морфологически элювиальный и субэлювиальный горизонты выражены в наименьшей степени.

6.3. Физические и химические свойства. Отличительной особенностью постагрогенных почв является меньшая кислотность (рис. 13А, Б) и большая насыщенность основаниями верхних горизонтов агроземов, выведенных из использования 7 и 19 лет назад (рис. 13В). При этом в ходе формирования лесной растительности происходит некоторое их подкисление.

6.4. Почвенное органическое вещество. В подзолистой почве содержание углерода и азота достигает максимальных значений в лесной подстилке. В минеральных горизонтах содержание, как углерода, так и азота постепенно убы-

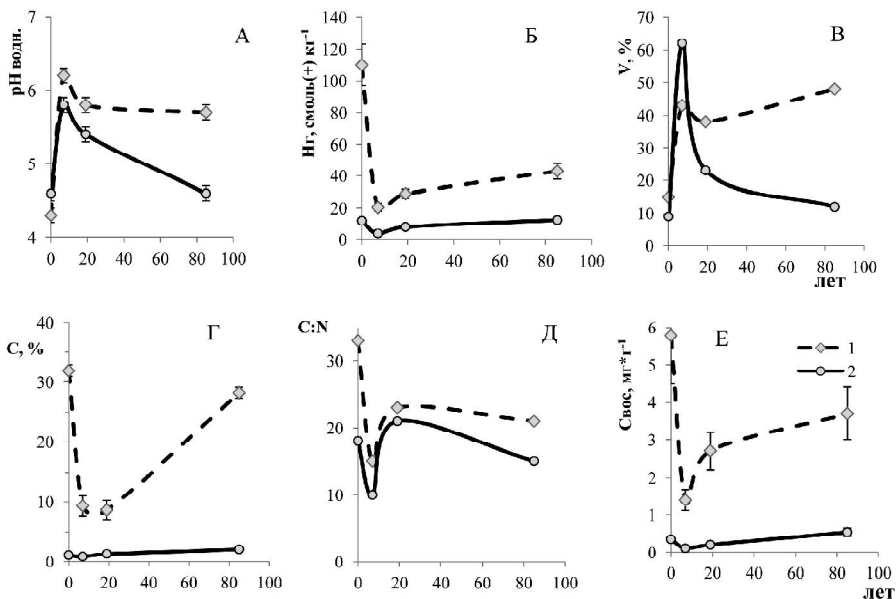


Рисунок 13. pH водной вытяжки (А), гидролитическая кислотность (Б) и степень насыщенности основаниями (В), общее содержание углерода (Г), отношение С:N (Д), содержание углерода водорастворимых органических соединений (Е) в органогенных (1) и верхних минеральных горизонтах (2) почв.

вает с глубиной. Содержание углерода в агрогумусовом горизонте семилетней залежи характеризуется близкими значениями по сравнению с элювиальным горизонтом почвы условно-фонового участка (1АС). В агрогумусовых горизонтах 19- и 85-летних залежей содержание углерода несколько возрастает (рис. 13Г). Качественно иной состав растительного опада, поступающего в разнотравных сообществах, приводит к уменьшению соотношения С:N, увеличению доли азота в составе почвенного органического вещества верхних горизонтов. Данный факт наиболее наглядно проявляется в почвах 7- и 19-летних залежей, в то время как отношение С:N в почвах 85-летней залежи и условно-фонового леса сопоставимы (рис. 13Д). Минимальное содержание $S_{\text{вос}}$ в органогенных горизонтах выявлено в почвах 7- и 19-летних залежах, в то время как к 85-летнему возрасту наблюдается некоторое его возрастание (рис. 13Е). Анализ запасов углерода сосредоточенных в почвах, позволяет сделать вывод, что при освоении лесных экосистем и удалении подстилки, происходит существенное снижение запасов углерода и азота почв (рис. 14). Уменьшение происходит преимущественно за счет снижения вклада подстилки. Необходимо отметить, что при снижении общих запасов углерода возрастают запасы в верхних минеральных горизонтах, и остаются достаточно стабильными в почвах сравниваемых постагрогенных участков. Возрастание запасов происходит на стадии формирования лесной подстилки. К 85-летнему возрасту его запасы в почвах приближаются к значениям почв условно-коренного леса. Изменение запасов азота имеет несколько другую закономерность – постагрогенные почвы характеризуются более высокими его запасами, чем почвы условно-фонового участ-

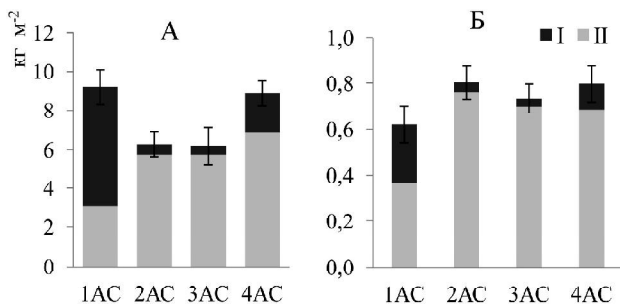


Рисунок 14. Запасы углерода (А) и азота (Б) в исследуемых почвах. I – органогенные горизонты; II – минеральные горизонты. Средние значения ($n=5$) и среднеквадратичные отклонения. Обозначения участков как в таблице 1.

тка, что вероятно связано с большей концентрацией элемента в составе разнотравного опада. Анализ денситметрических фракций показал, что в верхних горизонтах (ELhi, ELg) подзолистой почвы условно-фонового участка основу составляют тяжелые фракции, что в целом типично для почв бореальных лесов (Дымов, Милановский, 2014; Думов, Gabov, 2015; Дымов и др., 2015). Содержание углерода в них не превышает 0.1-0.5 %, при значительно более низком соотношении C:N. Для фракций COB_{<1.6} и OOB_{<1.6} характерно содержание углерода от 21 до 37 %, при соотношении C:N 40-90, что свидетельствует о преобладании в них слаборазложившихся растительных остатков.

Во фракциях COB_{<1.6} семилетней залежи выявлено существенное уменьшение содержания углерода и сужение соотношения C:N. Во фракциях COB_{<1.6} и OOB_{<1.6} в почвах залежей 19-летнего возраста наблюдается расширение отношения C:N. Наиболее чутко реагирует на изменение характера землепользования отношение C:N фракции свободного органического вещества. Существенно изменяется и вклад отдельных фракций в общее содержание углерода в агрогумусовых горизонтах по сравнению с элювиальными горизонтам почвы ельника (рис. 15). В верхней части агрогумусового горизонта почвы семилетней залежи наблюдается минимальное содержание, при достаточно низком вкладе окклюдированного органического вещества. В ходе дальнейшей сукцессии происходит постепенное возрастание углерода, за счет содержания во всех фракциях. Для нижней части агрогумусового горизонта выявлено постепенное возрастание углерода всех фракций. Таким образом, показано, что в почвах средней тайги, сформированных на суглинистых отложениях, в ходе по-

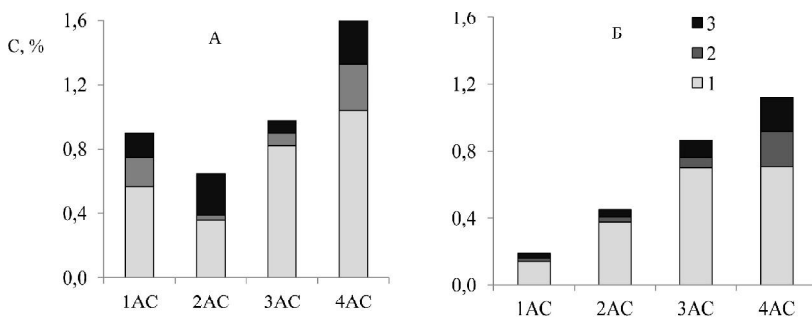


Рисунок 15. Вклад углерода денситметрических фракций в общее содержание углерода в верхних минеральных горизонтах 3-15 см (А) и с глубины 10(15)-25(30) см (Б) в почвах. Обозначения участков как в таблице 1; 1 – ТФ_{>1.6}; 2 – OOB_{<1.6}; 3 – COB_{<1.6}.

стагрогенной сукцессии наблюдается аккумуляция углерода, как за счет верхних минеральных горизонтов, так и за счет подстилок. Общее содержание углерода водорастворимых соединений достаточно чутко отражает особенности педогенеза на участках хроносерий восстановления почв после сельскохозяйственного использования. Содержание Свос в значительной степени определяется видовым составом растений напочвенного покрова и древесной растительности. Максимальное содержание Свос во всех рассматриваемых почвах хроносерии выявлено в органогенных горизонтах.

При этом меньшее его содержание выявлено в органогенных горизонтах на участках, характеризующихся преобладанием разнотравья на первоначальных этапах сукцессий (участки 2-3 АС). При возобновлении древесной растительности на участке 4АС и преобладании в напочвенном покрове мхов и кустарничков содержание Свос приближается к таковому в почве условно-фонового леса.

Глава VII. ВТОРИЧНЫЕ ПОЧВЕННЫЕ СУКЦЕССИИ

Морфологическая диагностика почв, находящихся на различных стадиях почвенных сукцессий, позволила выявить ряды трансформации лесных почв. Показано, что подзолистые почвы на пасечных участках вырубок проходят стадии подзолистых глееватых почв и в ходе дальнейшего лесовозобновления возвращаются к близкому к исходному состоянию. Подзолы литобарьерные на первых стадиях после рубки на пасечных участках трансформируются в торфяно-подзолы глеевые литобарьерные, которые после смыкания крон леса преобразуются в подзолы литобарьерные глееватые. Подзолистые почвы и подзолы литобарьерные на трелевочных волоках и лесопогрузочных площадках трансформируются в турбоземы детритные, сохраняющие диагностирующее строение длительное время. В дальнейшем турбоземы могут переходить в дерново-подзолистые почвы. Почвы лесов, подвергнутых пожарам, трансформируются в пирогенные подтипы: подзолы пирогенные, подзолистые пирогенные, торфяно-подзолы пирогенные. Признаки пирогенеза сохраняются в почвах длительное время, как минимум до 150 лет. На территории, подверженной вовлечению в сельскохозяйственное освоение, происходит полная трансформация подстилочных горизонтов. Подстилки полностью минерализуются, частично продукты их разложения закрепляются в минеральных горизонтах. Подзолистые почвы трансформируются в агроземы текстурно-дифференцирован-

ные, подзолы - в агродерново-подзолы. На старых залежах выявлены агродерново-подзолистые почвы.

Проведение исследований позволило систематизировать преобладающие вторичные почвенные сукцессии в бореальной зоне (табл. 4). В зависимости от типа воздействия, сукцессии предложено разделять на послерубочные, постпирогенные, постагрогенные и комплексные (при влиянии нескольких типов воздействий, например палов на вырубках). Дальнейшее деление предлагаем проводить по глубине и характеру воздействия. Менее нарушенные участки почв (поверхностные сукцессии), характеризующиеся изменением растительности на пасечных участках вырубок или при частичном выгорании подстилочных горизонтов при беглых низовых пожарах, предлагаем выделять в подтип «поверхностных». Вероятно, в данный подтип (поверхностные) возможно отнести участки лесов, пройденных однократным использованием в качестве подсек. Во всех сукцессиях присутствуют участки с механическими нарушениями подстилок и верхних минеральных горизонтов (полнопрофильные сукцессии), возникающие при вспашке, турбировании трелевочными агрегатами, пожарах средней и высокой интенсивности – при полном выгорании подстилочных горизонтов.

Таблица 4. Группировка преобладающих вторичных почвенных сукцессий

По типу воздействия	Послерубочные	Постпирогенные	Постагрогенные
Глубина и характер воздействия	<i>Поверхностные</i>		
	на пасечных участках	беглые низовые пожары	одноразовое использование в качестве подсек
	<i>Полнопрофильные</i>		
	на физически нарушенных участках – волоках и лесопогрузочных площадках	пожары средней и высокой интенсивности, гари	на пахотных угодьях
		<i>Очаговые</i>	
		полугидроморфные почвы	
Характер восстановления	Естественное / Управляемое / Комплексное		

Дальнейшее деление вторичных почвенных сукцессий следует проводить в зависимости от характера восстановления лесной растительности на естественное, искусственное (управляемое) и комплексное (допустим, содействие естественному лесовозобновлению на вырубках). Важную роль в систематике динамики свойств почв могут играть преобладающие элементарные почвообразовательные процессы, активизирующиеся на отдельных этапах почвенных сукцессий. В существующих реалиях климатических изменений крайне важно учитывать роль почв в балансе углерода в экосистемах. Предлагаем выделить отдельные сукцессии на уровне рода, описывающие характер изменения системы почвенного органического вещества, также возможно выделение углероддепонизирующих и эмиссионных почвенных сукцессий.

ВЫВОДЫ

1. Запасы углерода и азота в верхнем метровом слое почв естественно развивающихся лесов варьировали от 2.9 до 12.1 и от 0.1 до 0.7 кг м⁻² соответственно. Небольшими запасами углерода (2.9-3.4 кг м⁻²) и азота (0.1-0.2 кг м⁻²) характеризовались иллювиально-железистые подзолы. В автоморфных почвах, развивающихся на двучленных отложениях, запасы углерода составляют 8.6 кг м⁻², азота – 0.5 кг м⁻², в подзолистых почвах они оценены соответственно в 9.2 и 0.6 кг м⁻², в торфяно-подзолисто-глеевых – 12.1 кг м⁻² и 0.7 кг м⁻². Вклад органо-генных горизонтов в общих запасах углерода и азота изменяется соответственно от 17 и 8 % в подзолах, до 69 и 38 % – в торфяно-подзолисто-глеевых.

2. Почвенное органическое вещество функционально связано с компонентным составом опада, характеризующимся разным содержанием водорастворимых органических соединений, лабильных веществ и молекулярных фрагментов. Значимый вклад алкильных компонентов в составе почвенного органического вещества обусловлен участием хвои пихты и листьев березы. Существенное участие в нем О-алкильных фрагментов связано с поступлением хвои сосны, ели и древесины. Обогащение ОВ ароматическими фрагментами определяется всеми компонентами опада, но значительный вклад (до 29 %) обусловлен разлагающейся древесиной.

3. В ходе вторичных сукцессий на пасечных участках вырубок подзолистые почвы проходят стадии подзолистых глееватых почв. Подзолы литобарьерные в ходе естественного лесовозобновления проходят стадии торфяно-подзолов и подзолов литобарьерных глееватых. На механически нарушенных уча-

стках лесосек формируются турбоземы детритные. Пожары приводят к формированию подзолов пирогенных, подзолистых пирогенных и торфяно-подзолов пирогенных. Почвы, выведенные из активного сельскохозяйственного использования, проходят стадии агроземов и агродерново-подзолистых почв.

4. Морфологически выраженные признаки влияния рубок, пожаров и сельскохозяйственного освоения прослеживаются в почвах на глубине 0-40 см. В почвах производных лесов изменяются строение органогенных и минеральных горизонтов, происходит формирование новых горизонтов. Пирогенные морфологические признаки в лесных почвах сохраняются в течение 150 лет. Турбированные горизонты, формирующиеся при рубках, отмечены до 45 лет, при этом хорошая выраженность их признаков свидетельствует о значительно большей временной сохранности в почвах. Агрогумусовые горизонты диагностированы в 85-летних постагрогенных ельниках.

5. Почвы вырубков характеризуются большими суточными амплитудами температуры. Микроклиматические условия производных лесных сообществ потенциально способствуют интенсификации трансформации опада, состав которого на начальных стадиях развития вторичных фитоценозов определяется растениями напочвенного покрова. Лесовозобновление вырубков лиственными породами способствует обогащению почвенного органического вещества азотом. Изменение растительных сообществ способствует изменению химического состава водотоков, выражающемуся в увеличении концентрации гидрокарбонат-ионов, кальция, магния. На пасечных участках, в зависимости от геоморфологического положения, происходит активация процессов подстилконакопления, оглеения, дернового, иллювиирования органических соединений, снижения кислотности в верхних минеральных горизонтах.

6. Турбоземы детритные, формирующиеся на механически нарушенных участках лесосек, менее кислые, более насыщены основаниями, обогащены углеродом и азотом по сравнению с верхними минеральными горизонтами естественных почв. Возрастание общего содержания углерода происходит, как за счет прочно связанного с минеральной матрицей, так и углерода соединений, находящихся в свободной и окклюзированной форме. Фракции свободного и окклюзированного органического вещества, характеризуются возрастанием доли лигнино- и целлюлозоподобных соединений при уменьшении доли алифатических составляющих.

7. Пожары приводят к перераспределению запасов органического вещества, сосредоточенного в почвах, между подстилками и верхними минераль-

ными горизонтами. Характерно накопление пирогенного углерода в минеральных горизонтах. В почвах постпирогенных ландшафтов происходит 2-8-кратное возрастание содержания полициклических ароматических углеводородов. В почвах экосистем, пройденных пожарами 100-150 лет назад, их содержание снижается до условно-фоновых значений. В составе легких фракций органического вещества возрастает доля ароматических фрагментов. В первые годы после пожаров содержание углерода водорастворимых органических соединений в пирогенных горизонтах уменьшается от 3 до 27 раз по сравнению с органическими горизонтами почв условно-фоновых лесов.

8. Сельскохозяйственное использование среднетаежных почв приводит к формированию хорошо выраженного агрогумусового горизонта с низким содержанием органического углерода 0.9-2.1%. В верхних горизонтах почв залежей снижается кислотность, возрастают содержание обменных оснований и степень насыщенности основаниями по сравнению с лесными условно-фоновыми почвами. Вовлечение лесных почв в сельскохозяйственное использование приводит к уменьшению запасов почвенного органического вещества в метровой толще почв, в объемах около 3 кг м^{-2} . В ходе постагрогенной сукцессии почвы залежей в условиях средней тайги являются стоком углерода. Скорость депонирования углерода в ходе естественного лесовозобновления в год в метровой толще почв составляет $30\text{-}40 \text{ г м}^{-2}$. В ходе вторичной постагрогенной сукцессии происходит накопление углерода в верхних минеральных горизонтах почв и в формирующихся лесных подстилках. В почвах постагрогенных лесов увеличиваются запасы углерода водорастворимых соединений.

9. Доля денсиметрических фракций, содержание в них органического вещества отражают тип воздействия на лесные экосистемы. В почвах вырубок в ходе сукцессий наблюдается обогащение азотом свободного органического вещества, в то время как насыщенность азотом окклюдированного органического вещества снижается. Для верхних горизонтов турбоземов выявлено увеличение концентраций углерода и азота в составе легких фракций при стабильно высоких значениях C:N (35-36). Низкая насыщенность азотом органического вещества легких фракций постпирогенных почв (C:N 42-63 свободное ОВ, 41-57 окклюдированное ОВ) связана с процессом их карбонизации. На первых стадиях зарастания залежей в составе легких фракций выявлено уменьшение содержания углерода до 12-15 %, при обогащении азотом – отношение C/N составляет 19-22. В процессе лесовозобновления на залежах наблюдается рас-

ширение значений отношения C/N в легких фракциях ОВ до 29-38 в почвах 19- и 85-летних лесов.

10. Систематизация сукцессий почв в таежной зоне европейского северо-востока России включает тип, глубину и характер воздействия, особенности лесовозобновления, преобладающий элементарный почвообразующий процесс и особенности (эволюцию, характер, направленность) динамики почвенного органического вещества. Скорости изменения морфологических, физических и химических свойств почв в различных сукцессиях определяются интенсивностью воздействия, исходным состоянием экосистем и этапом восстановления. Максимальные скорости подстилкообразования в ходе вторичных сукцессий составляют 0.33-0.35 см год⁻¹ или около 60 г год⁻¹ в постпирогенных и постагрогенных и вдвое выше в послерубочных сукцессиях.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Научные статьи, опубликованные в журналах Scopus, WoS, RSCI, а также в изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности:

1. **Дымов А.А.**, Лаптева Е.М. Изменение подзолистых почв на двучленных отложениях при рубках // Лесоведение. – 2006. – № 3. – С. 42-49.
2. **Дымов А.А.**, Жангуров Е.В. Морфолого-генетические особенности почв кряжа Енганэпэ (Полярный Урал) // Почвоведение. – 2011. – № 5. – С. 515-524.
3. **Дымов А.А.**, Загирова С.В., Марченко-Вагапова Т.И. Формирование еловых биогеоценозов на Полярном Урале // Лесоведение. – 2011. – № 5. – С. 12-22.
4. **Дымов А.А.**, Милановский Е.Ю. Изменение органического вещества таежных почв в процессе естественного лесовозобновления растительности после рубок (средняя тайга Республики Коми) // Почвоведение. – 2014. – № 1. – С. 39-47.
5. **Дымов А.А.**, Жангуров Е.В., Старцев В.В. Почвы северной части Приполярного Урала: морфология, физико-химические свойства, запасы углерода и азота // Почвоведение. – 2013. – № 5. – С. 507-516.
6. **Дымов А.А.**, Габов Д.Н., Дубровский Ю.А. Пирогенные изменения подзолов иллювиально-железистых (средняя тайга, Республика Коми) // Почвоведение. – 2014. – № 2. – С. 144-154.

7. **Дымов А.А.**, Дубровский Ю.А., Габов Д.Н., Жангуров Е.В., Низовцев Н.А. Влияние пожара в северотаежном ельнике на органическое вещество почв // Лесоведение. – 2015. – № 1. – С. 52-65.
8. **Дымов А.А.**, Холодов В.А., Милановский Е.Ю. Состав и гидрофобные свойства органического вещества денситметрических фракций почв Приполярного Урала // Почвоведение. – 2015. – № 11. – С. 1335-1345.
9. **Dymov A.A.**, Gabov D.N. Pyrogenic alterations of Podzols at the North-East European part of Russia: morphology, carbon pools, PAH content // Geoderma. – 2015. – Vol. 241–242. – P. 230-237.
10. **Dymov A.A.**, Zhangurov E. V., Hagedorn F. Soil organic matter composition along altitudinal gradients in permafrost affected soils of the Subpolar Ural Mountains // Catena. – 2015. – Vol. 131. – P. 140-148.
11. **Дымов А.А.**, Старцев В.В. Изменение температурного режима подзолистых почв в процессе естественного лесовозобновления после сплошнолесосечных рубок // Почвоведение. – 2016. – № 5. – С. 599-608.
12. Жангуров Е.В., Дубровский Ю.А., Дёгтева С.В., **Дымов А.А.** Экологогенетические особенности формирования торфяных почв горной ландшафтной зоны Северного Урала (Печоро-Илычский заповедник) // Лесоведение. – 2017. – № 2. – С. 94-101.
13. **Дымов А.А.** Влияние сплошных рубок в бореальных лесах на почвы (обзор) // Почвоведение. – 2017. – № 7. – С. 787-798.
14. Старцев В.В., Жангуров Е.В., **Дымов А.А.** Характеристика почв высотных поясов хребта Яптикнырд (Приполярный Урал) // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2017. – № 38. – С. 6–27.
15. Старцев В.В., **Дымов А.А.**, Прокушкин А.С. Почвы постпирогенных лиственничников Средней Сибири: морфология, физико-химические свойства и особенности почвенного органического вещества // Почвоведение. – 2017. – № 8. – С. 912-925.
16. Низовцев Н.А., Холодов В.А., Иванов В.А., Фарходов Ю.Р., **Дымов А.А.** Неспецифические органические соединения торфяных почв Приполярного Урала // Почвоведение. – 2017. – № 9. – С. 1090-1097.
17. **Dymov A.A.**, Gabov D.N., Milanovskii E. Yu. ¹³C-NMR, PAHs, WSOC and repellence of fire affected soils (Albic Podzols, Russia) // Environmental Earth Sciences. – 2017. – V. 76: 275. doi:10.1007/s12665-017-6600-2.

18. **Дымов А.А.** Почвы механически нарушенных участков лесосек средней тайги Республики Коми // Лесоведение. – 2018. – № 2. – С. 130-142.

19. **Dymov A.A.**, Dubrovskiy Y.A., Startsev V.V. Postagrogenic development of Retisols in the middle taiga subzone of European Russia (Komi Republic) // Land Degradation and Development. – 2018. doi: 10.1002/ldr.2881.

Статьи в других журналах, входящих в перечень изданий, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России:

20. **Дымов А.А.**, Бобкова К.С., Тужилкина В.В., Ракина Д.А. Растительный опад в коренном ельнике и лиственно-хвойных насаждениях // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2012. – № 3. – С. 7-18.

21. **Дымов А.А.**, Милановский Е.Ю., Лаптева Е.М. Изменение почв и почвенного органического вещества в процессе естественного лесовозобновления после рубки сосняка бруснично-зеленомошного // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2012. – № 2. – С. 67-71.

22. **Дымов А.А.** Химический состав водотоков в коренном еловом и производном лиственно-хвойном лесах // Вода: химия и экология. – 2013. – № 4. – С. 97-101.

23. **Дымов А.А.**, Жангуров Е.В. Разнообразие и генетические особенности почв Приполярного Урала // Научно-практический журнал Пермский аграрный вестник. – 2014. – № 3 (7). – С. 45-52.

24. **Дымов А.А.**, Низовцев Н.А. Амфифильные свойства почвенного органического вещества в парцеллах преобладающих хвойных деревьев средней тайги // Теоретическая и прикладная экология. – 2015. – № 1. – С. 62-68.

25. Лаптева Е.М., Втюрин Г.М., Бобкова К.С., Каверин Д.А., **Дымов А.А.**, Симонов Г.А. Изменение почв и почвенного покрова после сплошнолесосечных рубок // Сибирский лесной журнал. – 2015. – № 5. – С. 64-76.

26. Старцев В.В., Жангуров Е.В., **Дымов А.А.** Годовая динамика температур органогенных горизонтов почв Приполярного Урала // Известия Коми научного центра УрО РАН. – 2016. – № 2. – С. 28-35.

27. **Дымов А.А.**, Михайлова Е.Н. Свойства лесных и постагrogenных почв, развивающихся на песчаных и суглинистых отложениях Республики Коми // Известия Коми научного центра УрО РАН. – 2017. – № 3. – С. 20-29.

Лицензия № 19-32 от 26.11.96 г. КР 0033 от 03.03.97 г.

Тираж 100

Заказ 01(18)

Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН
167982, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28