ФГБОУ ВО МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА

ФГБУН ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ КОМИ НАУЧНОГО ЦЕНТРА УРАЛЬСКОГО
ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

На правах рукописи

ДЫМОВ Алексей Александрович

ПОЧВЫ ПОСЛЕРУБОЧНЫХ, ПОСТПИРОГЕННЫХ И ПОСТАГРОГЕННЫХ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ

Специальности:
03.02.13 – Почвоведение (биологические науки)
03.02.08 – Экология (по отраслям) (биологические науки)

Диссертация
на соискание ученой степени доктора биологических наук

Научный консультант:
доктор биологических наук, доцент
Е.Ю. Милановский

Москва – 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 4

Глава I. ИЗМЕНЕНИЯ ПОЧВ БОРЕАЛЬНЫХ ЭКОСИСТЕМ ПОД ВЛИЯНИЕМ ПРЕОБЛАДАЮЩИХ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ) 12

1.1. Роль почв в лесных экосистемах 12

1.2. Влияние рубок леса на почвы 13

1.3. Изменение почв при пожарах 21

1.4. Изменение почв при выведении из сельскохозяйственного использования 25

1.5. Органическое вещество лесных почв и его современные изменения 30

ГЛАВА II. ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ РЕГИОНА ИССЛЕДОВАНИЯ. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ. 34

2.1. Характеристика региона исследования 34

2.2. Объекты исследования 38

2.3. Методологические подходы и методы исследования 46

2.3.1. Критерии выбора объектов исследования 46

2.3.2. Традиционные методы химического анализа и классификация почв 47

2.3.3. Определение состава опада во вторичных фитоценозах 48

2.3.4. Методы химического анализа почвенного органического вещества 48

2.3.5 Мониторинговые наблюдения за температурами почв 53

ГЛАВА III. ПОЧВЫ ЕСТЕСТВЕННО РАЗВИВАЮЩИХСЯ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ 54

3.1. Морфологические свойства 55

3.2. Физико-химические свойства 57

3.3. Органическое вещество почв 59

ГЛАВА IV. ПОЧВЫ ВЫРУБОК И ВТОРИЧНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ЛЕСОВ 71

4.1. Структура территорий вырубок 71

4.2. Условия почвообразования на вырубках 74

4.2.1. Лесовозобновление на вырубках 74

4.2.2. Количество и состав растительного опада 75

4.2.3. Температурный режим почв вторичных лесов 89

4.2.4. Химический состав вод малых рек 103

4.3. Почвы пасечных участков 108

4.3.1. Морфологические свойства почв 108
4.3.2 Физико-химические свойства почв 115
4.3.3. Почвенное органическое вещество 119
4.4. Почвы трелевочных волоков и лесопогрузочных площадок 127
4.4.1. Морфологические свойства почв лесопогрузочных площадок и трелевочных волоков 127
4.4.2. Физико-химические свойства турбоземов детритных 131
4.4.3. Органическое вещество почв механически измененных почв 132
Глава V. ПОЧВЫ ПОСТПИРОГЕННЫХ ЛЕСОВ 138
5.1. Древесная растительность и растения напочвенного покрова постпирогенных экосистем 138
5.2. Морфологические свойства почв гарей и горельников 139
5.3. Физико-химические свойства почв постпирогенных лесов 143
5.4.Почвенное органическое вещество гарей и горельников 148
Глава VI. ПОЧВЫ ПОСТАГРОГЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ 192
6.1. Динамика растительности 193
6.2. Морфологические свойства почв постагрогенных ландшафтов 195
6.3. Физико-химические свойства постагрогенных почв 199
6.4. Органическое вещество постагрогенных почв 203
Глава VII. ВТОРИЧНЫЕ ПОЧВЕННЫЕ СУКЦЕССИИ 222
7.1. Морфологогенетическая диагностика почвенных сукцессий 222
7.2. Органическое вещество почвенных сукцессий 228
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 231
ВЫВОДЫ 235
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ 239
Список литературы 240
Приложение 1 287
Приложение 2 333
Приложение 3 385

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Таежные леса являются важнейшим типом биома Российской Федерации. Они выполняют ключевую экологическую роль в регулировании климата всей планеты (Добровольский, Никиктин, 1990; Разнообразие…, 2012). Почвы бореальных лесов содержат приблизительно 30 % общепланетарных запасов почвенного углерода (Scharlemann et al., 2014). Почвы лесных ландшафтов регулируют химический состав поверхностных и грунтовых вод (Карпачевский, 1981; Арчегова, Кузнецова, 2011; Johnson et al., 1995; Рожков, Карпачевский, 2006; Schmidt et al., 2006). Современные изменения лесных почв связаны с ведением лесозаготовительной деятельности, пожарами, использованием в качестве сельскохозяйственных угодий.

Лесозаготовительные мероприятия являются одним из главных антропогенных факторов, изменяющих лесные почвы (Лукина и др., 2008; Бахмет, 2014; Ершов, 2015), переводящих почвы из естественно развивающихся в антропогенные (Richter, Yaalon, 2012; Дымов, 2017). Почвы ландшафтов, подверженных воздействию лесозаготовительных мероприятий, различаются по степени антропогенной нагрузки. При использовании технологии хлыстовой трелевки выделяют пасечные участки (без захода тяжелой агрегатной техники), трелевочные волока (или технологические коридоры движения лесозаготовительной техники) и лесопогрузочные площадки, почвы которых подвержены максимальному воздействию техники (Паутов, Ильчуков, 2001). Проблемы и характер изменения свойств почв пасечных участков освещены в ряде работ (Орфанитский и др., 1959; Верхоланцева, 1962; Варфоломеев, 1964, 1968; Орфанитский, Орфанитская, 1971; Телеснина, Шахин, 1999). Почвы, подвергающиеся воздействию лесозаготовительной техники, изучены в значительно меньшей степени. Существуют единичные исследования, затрагивающие их изменения (Иванов, 2005; Росновский, 2001). Показано, что почвы нарушенных участков переуплотнены (Засухин и др., 1996) и степень переуплотнения зависит от числа проходов тяжелой агрегатной техники (Росновский, 2001; Cambi et al., 2015). Возобновление растительности нарушенных участков задерживается на несколько лет (Соколов, 2006). Практически не проводились исследования и отсутствуют репрезентативные данные по

морфологическим и физико-химическим параметрам, содержанию и составу органического вещества почв нарушенных участков.

В современной динамике таежных экосистем северного полушария пожары играют значительную роль (Валендик, 1996; Безкоровайная и др., 2007; Краснощеков, Чередникова, 2012; Воздействие…, 2014). В зависимости от интенсивности и типа пожаров изменяется густота и продуктивность древостоев (Евдокименко, 2011), происходит смена доминатов верхнего и подчиненных ярусов растительного покрова (Прокушкин и др., 2011). Пирогенез – один из главных естественных или антропогенных факторов, изменяющих морфологические и физические свойства почв (De la Rosa…, 2008), а в горных ландшафтах он определяет активизацию эрозионных процессов (Чевычелов, 2002) и, как следствие, выноса илистых частиц в прилегающие водоемы (Doerr et al., 2000). В результате пирогенеза изменяются реакция среды и морфологические свойства почв (Санников, 1976; Kawahigashi et al., 2011). В некоторых случаях наблюдается изменение плотности сложения верхних минеральных горизонтов и их влагоемкость. Пирогенная эмиссия парниковых газов с территории Северной Евразии составляет значительную часть общепланетарной эмиссии парниковых газов (Швиденко и др., 2011; Conard, Ivanova, 1997).

Вблизи сельских населенных пунктов вовлечение лесных почв в сельскохозяйственное использование широко распространено на территории средней и северной тайги. Характер изменения содержания углерода в постагрогенных почвах носит дискуссионный характер. Для верхних минеральных горизонтов почв залежей южно-таежных ландшафтов установлено возрастание содержания общего углерода (Kalinina et al., 2015). В почвах заброшенных сенокосных угодий в Костромской области отмечается некоторое уменьшение содержания гумуса на первых стадиях сукцессий (Владыченский и др., 2013). Содержание углерода возрастает в заброшенных пахотных почвах (Рыжова и др., 2015; Kalinina et al., 2015). Poeplau и Don (2013) показали, что чувствительным индикатором характера землепользования может служить содержание свободного органического вещества. Исследования, направленные на изучение изменений растительности и почв в ходе постагрогенных сукцессий на территории средней тайги, носят единичный, описательный характер (Елькина и др., 2013). Наиболее

полно изучены свойства постагрогенных, остаточно-карбонатных почв на территории Архангельской области (Наквасина, Голубева, 2014).

Все перечисленные факторы (рубки, пожары, сельскохозяйственное освоение, механические нарушения), с нашей точки зрения, логично вписываются в концепцию почвенных сукцессий. Термин (или Понятие) «сукцессии» используется для почв в значительно меньшей степени, по сравнению с растительными сообществами (Александрова, 1964; Миркин, Наумова, 2012). В отечественном почвоведении проблемы почвенных сукцессий детально рассмотрены Васенёвым (2008). Автором раскрыта роль почвенных сукцессий в общем динамизме свойств почв, предложены первоначальные варианты классификаций почвенных сукцессий для лесостепной зоны. Сукцессии в таежной зоне рассмотрены с позиций естественной динамики лесных экосистем (Эволюция почв…, 2015). Динамика бореальных лесных экосистем Кольского полуострова под воздействием аллогенных факторов анализировались Лукиной (Лукина и др., 2008). Существующие единичные работы оставляют «белые пятна» в понимании современной динамики почв таежной зоны.

В связи с этим, **цель** исследования заключалась в выявлении закономерностей изменений почв лесных экосистем на территории европейского северо-востока 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, физико-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 производных 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 гомогенных 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 постагрогенных 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, характеризуемые высокой долей участия крупных порубочных остатков в верхних горизонтах. Морфологические признаки нарушений в почвах вырубок сохраняются до полувека.

2. Интегральным следствием увеличения содержания ароматических фрагментов в составе почвенного органического вещества, возрастания содержания полициклических ароматических углеводородов 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» (pyr) 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:

Киров (2006); Москва (2004, 2006; 2007; 2010; 2012; 2016); Ухта (2002; 2014); Архангельск (2006); Улан-Удэ (2009); Красноярск (2003; 2014); Сыктывкар (2002-2015). 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» (номер регистрации 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» (Гр 0120.1250267); 2015-2017 гг. «Пространственно-временные закономерности формирования торфяных почв на европейском северо-востоке России и их трансформации в условиях меняющегося климата и антропогенного воздействия» (Гр 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 хоздоговорных 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 статьях 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, 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 свою глубочайшую признательность Льву Оскаровичу Карпачевскому, Евгению Юрьевичу Милановскому, Елене Морисовне Лаптевой – главным наставникам, под руководством которых на различных этапах выполнялась представленная работа, за постоянную помощь, поддержку и доброжелательное отношение, возможность всестороннего обсуждения замыслов и результатов исследования, ценные советы и критические замечания.

Автор признателен коллегам и друзьям: д.б.н. К.С. Бобковой, д.б.н. С.В. Дёгтевой, д.б.н. Г.А. Симонову, к.с.-х.н. Г.М. Втюрину, к.х.н. Б.М. Кондратенку, д.б.н. Е.В. Шамриковой, д.г.н. С.В. Горячкину, д.с.-х.н. Г.Я. Елькиной, д.б.н. Т.А. Соколовой, к.б.н. Е.Г. Кузнецовой, к.б.н. Л.Г. Богатыреву, В.Г. Казакову, к.б.н. В.А. Холодову, к.б.н. З.Н. Тюгай, к.с.-х.н. Е.В. Жангурову, к.г.н. Д.А. Каверину, к.б.н. Д.Н. Габову, к.б.н. Ю.А. Дубровскому за помощь, поддержку, консультации и ценные советы при проведении исследований и обсуждении результатов работы; ведущим инженерам Т.В. Зоновой, Н.А. Васильевой, Ю.И. Бобровой, О.М. Зуевой, а также аспирантам и студентам В.В. Старцеву, Н.А. Низовцеву, Е.Н. Михайловой, Д.А. Ракиной, Т.Е. Беднягиной за помощь в проведении полевых работ, пробоподготовке образцов.

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

1.1 Роль почв в лесных экосистемах

Лесные почвы выполняют важные биосферные функции: атмосферные, гидросферные, литосферные и общебиосферные. Лесные экосистемы участвуют в регулировании циклов углерода и азота в биосфере, оказывают влияние на водный и температурный режимы почв, участвуют в формировании речного стока и водного баланса, определяют интенсивность процесса почвообразования и в целом формировании почвенного профиля (Добровольский, Никиктин, 1990; Карпачевский, 2005; Никитин, 2005). Почвы лесных экосистем выполняют лидирующую роль в энергетических процессах биосферы, чутко реагируя на происходящие в ней изменения (Влияние антропогенных..., 1990).

Почвам северных регионов в настоящее время посвящено значительное число работ. Большинство из них направлено на изучение современного состояния естественных почв и оценке устойчивости к климатическим изменениям (Crowther et al., 2016). Проблемы, связанные с изменением климата в конце XX-начале XXI веков, усилили интерес к лесным почвам, депонирующим от 40 до 60 % запасов органического углерода, накапливаемого в биогеоценозах (Коренные…, 2006; Lal, 2005; Dixon et al., 1994; Jandl et al., 2007; Vancampenhout et al., 2010). Почвы северных экосистем являются одними из важнейших компонентов при оценке общепланетарных пулов углерода (Пулы и потоки…, 2007; Marhan et al., 2016). Почвы бореального пояса содержат приблизительно 30 % (Scharlemann et al., 2014), в почвах циркумполярного региона сосредоточено до 50 % общепланетарных запасов почвенного углерода (Tarnocai et al., 2009). Согласно оценкам Уткина (2008) в лесах Российской Федерации аккумулировано приблизительно $218 \cdot 10^9$ т углерода, из которых около 84 % приходится на углерод почвы.

Изучение почв и почвенного покрова таежных областей позволяет не только рассмотреть особенности современного состояния экосистем, но и объяснить

эволюцию отдельных парцелл, фитоценозов и ландшафта в целом (Таежные …, 1985; Втюрин, 1985; Карпачевский, 1981; 1997; Макеев, Макеев, 1989; Васенёв, Таргульян, 1995; Смирнова и др., 2001; Восточноевропейские…, 2004; Коренные …, 2006; Разнообразие .., 2006; Васенёв, 2008; Горячкин, 2010; Murphy et al., 2004; Gundersen et al., 2006; Falsone et al., 2012). В последние десятилетия наблюдается усиление внимания к особенностям функционирования естественных таежных почв (Методические подходы..., 2010), углубление знаний о строении и пространственном варьировании свойств лесных почв (Лукина и др., 2008, 2010; Орлова и др., 2011;).

Таежные экосистемы являются объектами различных типов антропогенной деятельности и при этом чувствительными индикаторами современных климатических изменений. Необходимо констатировать, что естественные почвы изучены более детально, по сравнению с почвами вторичных фитоценозов. Основные факторы, обуславливающие изменения таежных экосистем, связаны с промышленными рубками и пожарами, происходящими как в результате антропогенных, так и естественных факторов. Рассматривая отдельные внешние факторы, необходимо отметить, что проблемы изменения почв в зависимости от антропогенного или биогенного фактора, проработаны с различной степенью детализации.

1.2 Влияние рубок леса на почвы

Несмотря на то, что практически с самого зарождения научного почвоведения человеческая деятельность рассматривалась как важный фактор формирования почв, базовые теоретические концепции почвоведения только на рубеже XX-XXI вв. стали включать человека, как полноценный фактор почвообразования, приводящий к резкой активизации изменения почвенных процессов (Richter, Yaalon, 2007).

Ведущим фактором изменения бореальных лесов выступает хозяйственная деятельность человека. Лесные экосистемы РК, как и другие таежные экосистемы

РФ, подвергаются возрастающему антропогенному воздействию с XVII-XVIII в.в. (Ларин, Паутов, 1989). Но при этом до середины XX века щадящие подходы к лесозаготовительной деятельности, в том числе ручная лесозаготовка и конная трелевка древесины, не приводили к существенным изменениям породного состава лесов. На значительных территориях, пройденных такими типами лесозаготовок, хвойные фитоценозы функционировали по близким к естественным закономерностям (Ларин, 1987). Существенно ситуация стала меняться с середины XX века (рис. 1.1А).

Увеличение объемов заготовляемой древесины, механизация процесса лесозаготовок, преобладание сплошных концентрированных и сплошнолесосечных рубок способствовали росту антропогенного воздействия на таежные экосистемы. На территориях, пройденных рубками, изменяется структура лесного покрова. На значительной площади европейского Северо-востока России наблюдается смена хвойных пород лиственными (Ларин, 1987; Лесное хозяйство..., 2000; Пручкин, 2002; Дёгтева, 2002; 2005).

Рубки являются ведущим фактором, оказывающим влияние на лесообразовательный процесс. Существенное влияние на особенности лесовозобновления оказывают технологические факторы, а именно технология проведения лесозаготовительных работ, сезон лесозаготовительных работ и климатические условия года, количественный и качественный состав сохраненного подроста (Львов и др., 1980). Особенность РК заключается в низкой доле искусственного лесовозобновления (рис. 1.1Б), на значительных площадях вырубок восстановление лесов происходит за счет естественного возобновления древесных пород (Ларин, 1987; Ларин, Паутов, 1989). В таком случае лесовосстановление в значительной степени определяется подростом, сохранившимся в процессе лесосечных работ, а так же и последующем возобновлении, которое обеспечивается в результате самосева от сохранившихся семенников. Кроме этого, лесовозобновление на вырубках определяется природно-климатическими условиями, сохранностью подроста, типом леса, а так же степенью минерализации почв (Львов и др., 1980). Одним из наиболее важных параметров при

прогнозировании лесообразовательных процессов на вырубках является сохранение подроста при лесозаготовительных работах.

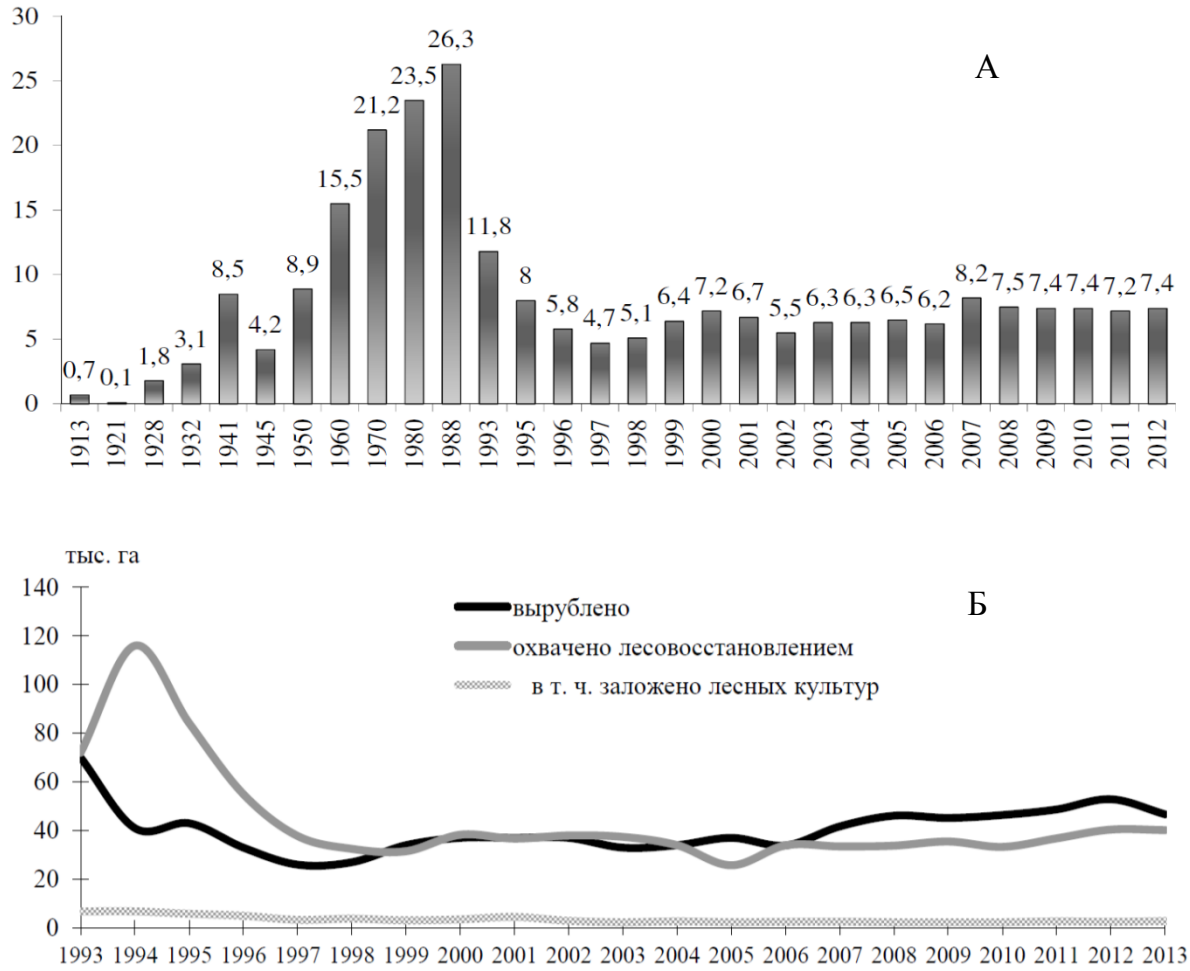


Рисунок 1.1. Динамика объемов (млн. м^3) лесопользования в Республике Коми (А) и динамика лесовосстановительных мероприятий (Б) за 20 лет (По: Государственный доклад…, 2013; 2014).

Рубкам посвящена обширная литература, обусловленная длительной историей лесопользования в России. Исследования, проведенные в различное время Морозовым (1971); Ткаченко (1952); Побединским (1951; 1962; 1965; 1966; 1973); Протопоповым (1975); Молчановым (1961); Мелеховым (1962) и другими лесоводами, позволили охарактеризовать многие закономерности строения лесов, разработать, применительно к конкретным лесным формациям и группам лесов, системы лесохозяйственных мероприятий, обеспечивающих рациональное лесопользование и воспроизводство лесов. Аналогичные задачи, с учетом характерных региональных особенностей лесов и многообразия условий

местопроизрастаний, решались и в Республике Коми (Лазарев, 1961; Судаков, 1969; Ларин, 1987; Ларин, Паутов, 1989; Паутов, 1992; Ильчуков, 2000; Бобкова, Лиханова, 2012).

Лесовосстановление на вырубках сосняков и ельников зеленомошных и долгомошных, преобладающих в регионе исследований, происходит через смену хвойных пород лиственными (Ларин, 1979; Ларин, Паутов, 1980; Паутов, Ильчуков, 2001; Ильчуков, 2003; Дёгтева, 2005). Доминирующую роль при восстановлении древостоя представляют береза и осина (Львов и др., 1980). Возобновление хвойных пород, без дополнительных мер содействия, протекает крайне медленно (Ларин, Паутов, 1989). Ряд авторов признает лиственные насаждения на вырубках в качестве специфического этапа самовосстановительной сукцессии, типичной для лесов европейского Севера России (Ларин, 1979, 1989; Тюрин, 1982). Активное лесопользование на территории средней тайги РК привело к увеличению доли лиственных пород на территории лесосек (Паутов, 1992).

Немаловажным фактором является фрагментирование лесосек по степени нарушения почвенного покрова. На лесосеках формируются несколько типов микросреды, отличающие особенностями возобновительных процессов (рис. 1.2). Наибольшие площади занимают пасечные участки, характеризуемые сохранившимся подростом, при отсутствии механических нарушений почв. Их площадь может варьировать от 59 до 71 % от общей площади лесосеки. Пасечные участки в наибольшей степени сохраняют эдафоценотические признаки материнского насаждения. Трелевочные волока занимают 18-29 % площади лесосек.

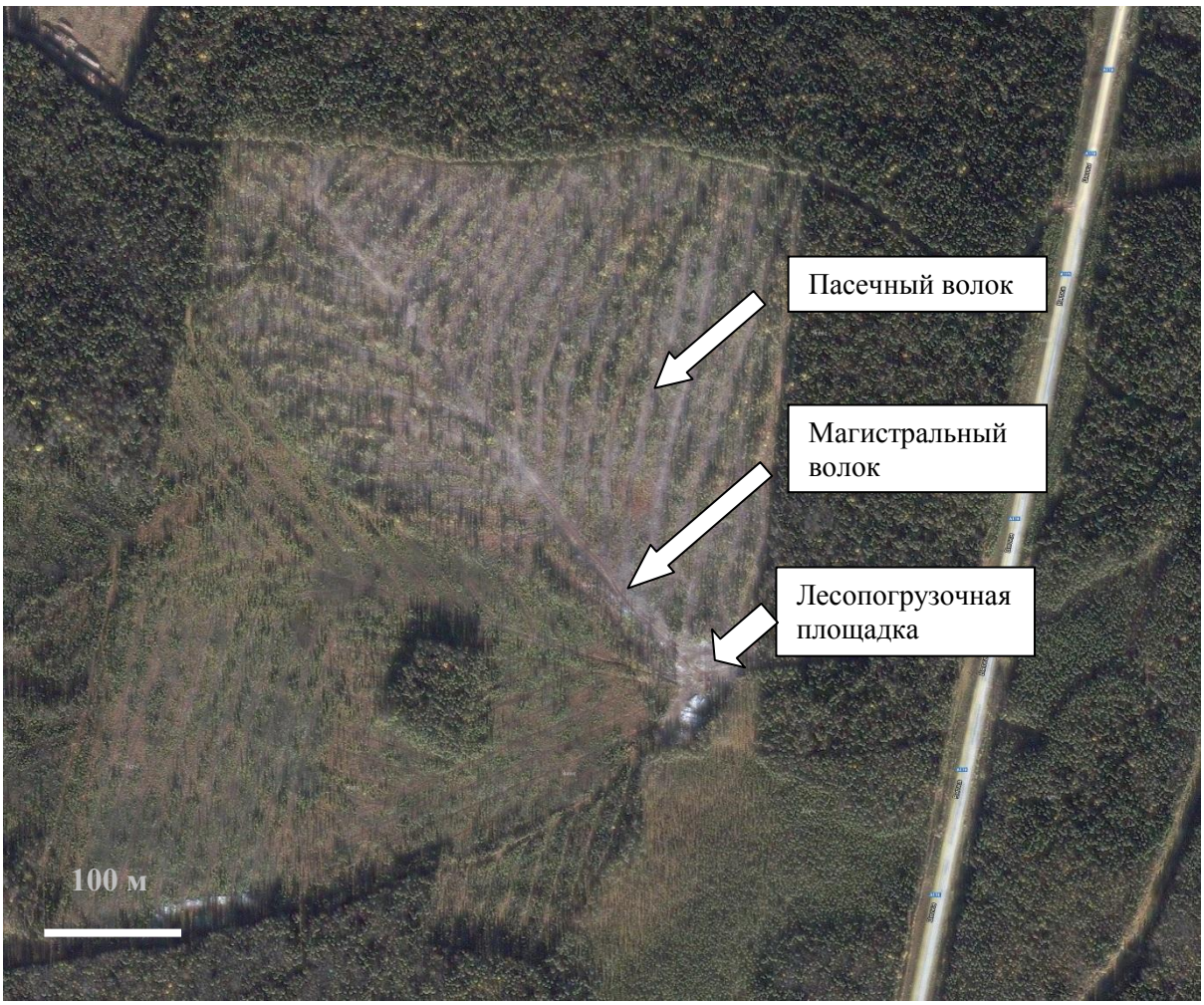


Рисунок 1.2 Фрагмент космоснимка вырубок 2003 и 2009 г.г. Хорошо заметна структура сплошных вырубок с пасечными участками, волоками, ключевым биотопом и лесопогрузочной площадкой. Источник – Яндекс-карты. Вырубали лиственно-хвойные древостои чернично-зеленомошного типа леса послепожарного происхождения с различным участием березы, осины, сосны и ели. На нижней части снимка представлена вырубка, на которой заготовку проводили по «традиционной» технологии с использованием ручной валки деревьев бензопилами и трелевкой деревьев на погрузочную площадку трелевочными тракторами типа ТДТ-55 в 2003 г. В центре вырубки оставлен «ключевой биотоп» для сохранения биоразнообразия лесов. Верхняя часть снимка – вырубка 2009 с использованием многооперационной техники.

Эдафические условия на волоках часто претерпевают существенные изменения, в связи, с чем характерно возобновление березой, осиной и ивой. Наиболее преобразованы почвы лесопогрузочных площадок, занимающих от 8 до 19 % лесосек (Паутов, Ильчуков, 2003). Полное уничтожение древесной растительности и растений напочвенного покрова предопределяет очаговый характер лесовосстановления, часто существенно отличается от пасечных участков и волоков.

Вторичные лиственные молодняки, формирующиеся на вырубках, изменяют экологические условия (Дёгтева, 2002), водный и тепловой режимы (Мелехов, 1962). В некоторых случаях наблюдается изменение состава опада и биогеохимических циклов отдельных элементов (Фролова, Козобродова, 1965), а также интенсивность биологического круговорота (Пристова, 2003).

Важную роль на первых этапах восстановления экосистем на вырубках играет напочвенный покров. В первые годы после рубки роль эдификатора переходит к растениям напочвенного покрова (Бабинцева, 1965; Сукачёв, 1972; Львов и др., 1980; Перевозникова, 1996). Для дальнейшего развития древесной растительности на вырубках значительную роль оказывает состав и структура напочвенного покрова исходного типа леса (Телеснина, Шахин, 1999). В условиях заболачивания вырубок, в экосистемах Севера характерно возрастание вклада кукушкиного и сфагновых мхов (Чертовской, 1963). Согласно работам (Дмитриев, 1950; Мелехов, 1954; Чертовской, 1959, 1963, 1978; Сукачёв, Зонн, 1961) формирование мохового покрова может существенно сокращать испарение влаги из верхних горизонтов почв.

Основное число работ, посвященных изменению почв на вырубках, было проведено в 1960-1990 годах прошлого века. В исследования проведенных в в подзоне южной тайги (Карпачевский, 1977, 1981; Шумаков, Кураев, 1985; Запрометова, Деянова, 1987; Тощева, 1988; Холопова, Солнцева, 1987; Целищева, Строганова, 1991) были охарактеризованы различия почв на пасечных и механически нарушенных участках вырубок.

Оценена специфика воздействия различных способов заготовки на сохранение подроста, изменение водного и воздушного режима почв, химических свойств почв и органопрофилей лесных почв (Побединский, 1951, 1962, 1965,1966, 1973, 1979, 1980; Пятецкий, Морозова, 1962; Морозова, 1964; Егорова, Куликова, 1965; Федорец с соавт., 1983, 2003; Бахмет, 2014).

На примере различных типов леса выявлено, что механизированная заготовка древесины способствует изменению физико-химических свойств почв (Пономарев, 1965; Телеснина, Шахин, 1999). Показано, что последствия рубок определяются исходным типом леса. В подзолах иллювиально-железистых, после рубки выявлено уменьшение влаги в верхних горизонтах профиля (Верхоланцева,

1962). Благоприятные, с точки зрения почвенного плодородия, условия складываются на разнотравно-папоротниковой вырубке (Паршевников, 1961). Улучшение лесорастительных условий, выражающиеся в уменьшении кислотности, накоплении обменных оснований в верхних горизонтах выявлены на луговиковых вырубках (Орфанитский и др., 1959). На долгомошных вырубках ельников возрастает содержание грубого гумуса (Чертовский, 1959). В почвах средней и северной тайги широко распространено явление заболачивания. Втюриным (1993) высказано предположние, что активизация заболачивания и увеличение площадей болот в бассеинах рек Мезени и Вашки, определяется проведением концентрированных рубок. Орфанитским и Орфанитской (1971) доказано, что помимо типа леса, существенное влияние может оказывать принадлежность к определенной таежной подзоне. На примере почв, развивающихся на двучленных отложениях, авторами выявлено, что восстановление свойств почв в южной тайге происходит более динамично по сравнению со среднетаежной подзоной.

Данных по свойствам механически нарушенных почв существенно меньше, чем для почв пасечных участков. Обычно почвы волоков и лесопогрузочных площадок переуплотнены (Засухин и др., 1996). Росновским (2001) доказано, что степень нарушения почв магистральных волоков в значительной степени определяются коэффициентами сжимаемости почвенных горизонтов, их пористостью, которые зависят от влажности и механического состава минеральных горизонтов. Уплотнение зависит от числа проходов тяжелой агрегатной техники (Росновский, 2001; Cambi et al., 2015), что влияет на состав почвенного воздуха (Goutal et al., 2013). При воздействии агрегатной техники, выявлено, что почвы развивающиеся на песчаных отложениях, уплотняются быстрее, в то время как почвы, формирующиеся на суглинистых отложениях на большие величины (Сюнёв, Катаров, 2008). Работы по оценке тяжелой лесозаготовительной техники при летней заготовке древесины на свойства почв Карелии и Тверской области показали, что одним из важных моментов при степени воздействия на почвы является влажность, использование хворостяной подушки и влажность почв на момент проведения рубок (Gerasimov, Katarov, 2010; Катаров и др., 2012). Согласно работам указанных авторов, плотность верхних горизонтов почв наиболее сильно

возрастает при первых 7-10 проходах техники. В зависимости от влажности, использования гусениц наблюдается возрастание плотности на 7-20 % от исходных значений.

В зависимости от степени нарушения почв, рост молодняка древесных пород на волоках и лесопогрузочных площадках отстает от роста в контроле в 2-6 раз (Засухин и др., 1996). Породный состав на технологических элементах лесосеки существенно различается (Сплошные…, 2013). Отмечено, что около 10 % площади лесосек на территории Карелии остаются необлесенными длительное время (Соколов, 2006). Существенное влияние на характер начальных стадий лесообразования оказывает технология лесозаготовительных работ (Дебков и др., 2017). По данным зарубежных исследователей, состав растительности на механически нарушенных участках существенно отличается, при этом переуплотнение в целом негативно влияет на продуктивность древостоя (Gomez et al., 2002; Parker et al., 2001; 2007). Froehlich с соавт. (1985) показали, что за пять лет после рубки, рост сосны (*Pinus ponderosa* Douglas ex C. Lawson) в Вашингтоне на переуплотненных участках существенно отличается от фоновых (непереуплотненных) участков. В ходе дальнейшего возобновления растительности происходит восстановление физических свойств почв. Page-Dumroese с соавт. (2006) выявили, что через пять лет после лесозаготовительных мероприятий плотность восстановилась в верхних 10 см, но при этом плотность на глубине 10-30 см была выше контрольного участка. Froehlich с соавт. (1985) показал, что через 23 года происходит возвращение к исходным значениям плотности сложения почв. Показано, что переуплотнение на волоках приводит к снижению массы корней. Влияние прослеживается до 15-летнего возраста и может составлять 45-55 % (Карпенко, 2008).

Активизация современных исследований вырубок связана с осознанием роли таежных экосистем и лесных почв в общепланетарных циклах углерода и регулировании биогеохимических циклов (Сапожникова, 2000; Федорец, Бахмет, 2003; Углерод…, 2005; Лесное хозяйство…, 2000; Дымов, Лаптева, 2006; Крышень, 2006; Рунова, Савченкова, 2008; Маслов, 2009; Уланова и др., 2008; Обыденников, Тибуков, 2009; Цветков, 2010; Антонов и др., 2011; Широких, 2012; Мартыненко и др., 2014; Бахмет, 2014; Pennock, Kassel, 1997; Piirainen et al., 1998, 2002, 2004;

Griffiths, Swanson, 2001; Wickland, 2001; Bock, Van Rees, 2002; Ilvesniemi et al., 2002; Palviainen et al., 2004, 2005; Qualls, 2004; Nadporozhskay et al., 2006; Shaw et al., 2006; Klopatek, 2008; Smolander, Heiskanen, 2007; Demir et al., 2010; Luyssaert et al., 2010). Показано, что вырубки отличаются по скорости эмиссии углекислого газа от залесённых территорий (Молчанов и др., 2016). На вырубках значительный вклад в эмиссию углекислого газа вносят крупные древесные остатки (Shorohova, Kapitsa, 2016), которые подвержены микогенному разложению (Мухин, Воронин, 2007). Оценка воздействия лесозаготовительных мероприятий с использованием метаанализа позволила Achat с соавт. (2015) выявить некоторые закономерности изменения почвенного углерода. Основные закономерности, выявленные авторами работы, заключаются в уменьшении углерода сосредоточенного в подстилках, но ряде случаев авторами отмечено возрастание запасов в минеральных горизонтах. При этом, в анализируемой литературе отсутствуют публикации, отражающие изменение почв бореального пояса России.

Анализ литературы позволил выявить, что несмотря на большое число работ по почвам вторичных экосистем, почвы вырубок изучены крайне недостаточно. К настоящему времени практически отсутствуют данные по специфике органического вещества почв вторичных послерубочных фитоценозов. Несмотря на достотачно широкую распространненость на лесосеках механических нарушений, отсутствуют данные о морфологическом строении и специфике почвенного органического вещества механически нарушенных почв.

1.3. Изменение почв при пожарах

Значительную роль в современном изменении таежных экосистем играют пожары (Мелехов, 1948; Фуряев, 1996; Мажитова, 2000; Деградация…, 2002; Воздействие…, 2014). Пожары являются одним из основных естественно циклических факторов, способствующих изменению таежных ландшафтов (рис. 1.3). Пожары – основной фактор, дестабилизирующий лесные экосистемы и регулирующих формирование новых послепожарных биогеоценозов (Курбатский, 1972; Валедник, 1996; Isaev, Korovin, 1996; Korovin, 1996; Торлопова, Ильчуков, 2007; Egli et al., 2012). Статистика пожаров в ходе пожароопасного периода определяется климатическими условиями летнего периода. В наиболее

пожароопасные годы, лесные площади, пройденные пожарами, достигают величин близких к площадям вырубок (Статистический ..., 2012). Достаточно детально исследовано влияние пожаров на древесную растительность и ее последующую постпирогенную смену. Показано, что в еловых и пихтовых лесах после обширных пожаров на первых этапах сукцессии получают развитие преимущество лиственные породы, способные к быстрому возобновлению (Сукачёв, Зонн, 1961; Морозов, 1971; Ниценко, 1972; Восточноевропейские…, 1994; Ценотическая и флористическая…, 2001; Дёгтева, Дубровский, 2010). В зависимости от интенсивности и вида пожаров происходят изменения видового состава растительности, изреживание древостоя, изменение продуктивности (Евдокименко, 2011), смена доминатов напочвенного покрова (Прокушкин и др., 2011). Нередко низовые пожары слабой и средней интенсивности оказывают стимулирующее воздействие на естественное возобновление леса (Цветков, 1996). Выявлено, что в процессе постпирогенных сукцессий происходят существенные изменения в растительных сообществах и подстилках (Горшков, 1995; Краснощеков, 2011), что отражается на составе и свойствах почвенного органического вещества. Определено, что восстановление подстилок после пожаров это длительный процесс, скорость их восстановления слабо зависит от зонального положения гарей (Горшков и др., 2005).

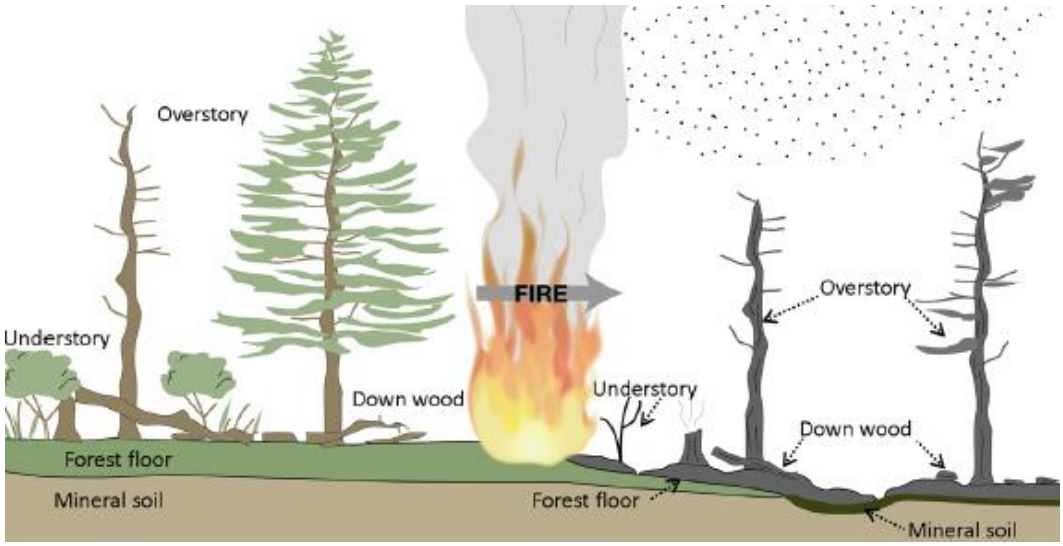


Рисунок 1.3. Схема влияния пожаров на лесные экосистемы (по: Santin et al., 2015).

Показано, что пирогенез является одним из главных субфакторов, изменяющих морфологические и физические свойства бореальных почв, в горных ландшафтах происходит развитие эрозионных процессов (Чевычелов, 2002).

Выявлено, что в первую очередь при пожарах происходит изменение морфологических свойств, кислотности, механического состава почв (Сапожников, 1976; Трофимов, Бахарева, 2007; Kawahigashi et al., 2011). В некоторых случаях наблюдается изменение плотности сложения верхних минеральных горизонтов, влагозапасов, выгорание подстилочных и верхних органогенных горизонтов (Трофимов, Бахарева, 2007). В почвах гарей происходит увеличение обменных форм кальция, возрастание дневных максимумов температур на 5-7 градусов по сравнению с контролем (Галощапова, Калиненко, 2012). Выявлено, что в почвах пройденных пожарами имеет место вынос из органогенных горизонтов фосфора и калия. В ходе пожаров изменяется материально энергетический обмен между атмосферой и почвой (Тарасов и др., 2011; Евдокименко, 2013). Негативное воздействие пирогенного фактора приводит к депрессии биологической активности почв (Сорокин и др., 2000; Безкоровайная и др., 2007; Сорокин, 2009; Сорокин, Афанасьева, 2012), изменению численности и разнообразия микроартропод (Краснощекова и др., 2008). Существенную роль играет интенсивность пожаров (Богородская, Иванова, 2011). Пирогенная эмиссия парниковых газов с территории Северной Евразии составляет значительную часть общепланетарной эмиссии парниковых газов (Швиденко и др., 2011; Вивчар и др., 2010; Conard, Ivanova, 1997). Исследования сотрудников ЦЭПЛа РАН, показали, что общий объем эмитированных соединений углерода за период наблюдения с 2006 по 2012 гг. превысил 695.5 миллионов тонн. При этом объем угарного газа достиг отметки 26.5 млн. т. (Исаев и др., 2014; Лукина и др., 2015). Только на территории РК за предыдущее десятилетие возникало 2830 пожаров, территория, затронутая пожарами, составила около 113 тыс. га (рис. 1.4).

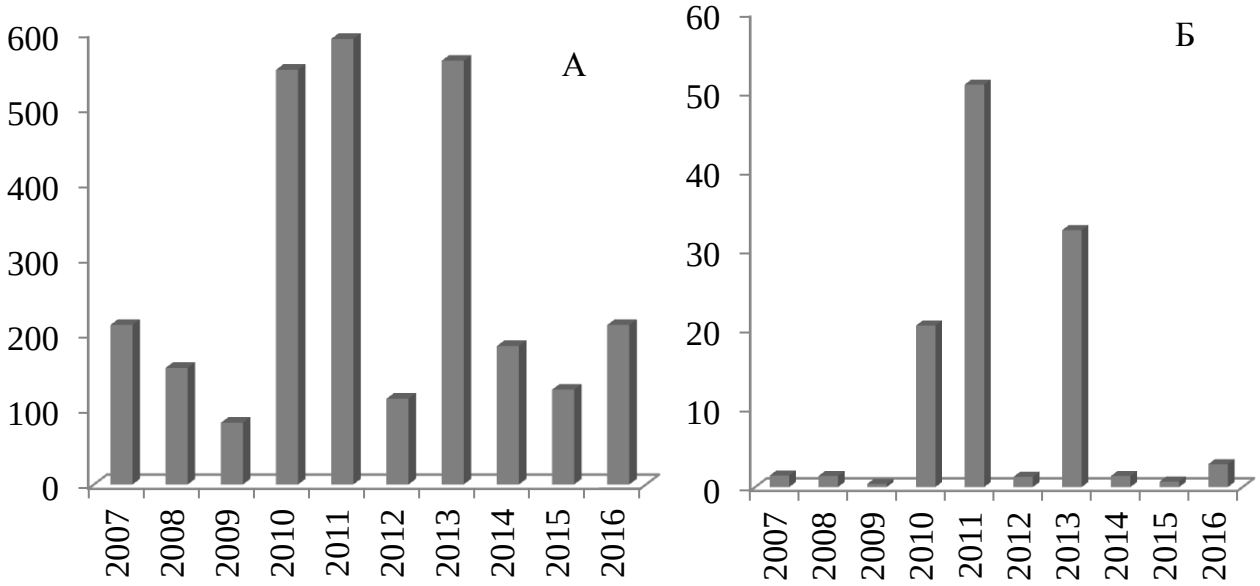


Рисунок 1.4. Статистика лесных пожаров по Республике Коми. А – число пожаров, шт., Б – площади затронутые пожарами, тыс. га. По данным сайта Коми лесопожарного центра http://gis.rkomi.ru/fires.

В существующих условиях флуктуации климата особую роль приобретают изменения почвенного органического вещества (Soucemarianadin et al., 2014). Считается, что пожары в бореальных лесах являются главным драйвером изменения органических соединений почв (Certini, 2005; Bond-Lamberty et al., 2007; Santin et al., 2008; Bergeron et al., 2013; Loehman et al., 2014; Cui et al., 2014). Выявлено, что пожары в таежной зоне оказывают не только локальное влияние, но также в результате трансграничного переноса угольной пыли способствуют существенному ускорению таяния ледников. В почвах гарей наблюдается изменение содержания гидрофильных соединений (Mataix-Solera, Doerr, 2004) и полициклических ароматических углеводородов (Цыбарт, Геннадиев, 2008, 2011; Kim et al., 2003; Tsibart et al., 2014). Анализ литературы позволил выявить, что большинство исследований направленных на пирогенные изменения лесов, характеризуют территорию Сибири. Современные работы, описывающие изменения почв при пожарах на европейском Севере единичны, с преобладанием публикаций по динамике растительности в ходе постпирогенных сукцессий.

1.4. Изменение почв при выведении из сельскохозяйственного использования

Наряду с рубками и пожарами, сельскохозяйственное освоение и последующее «забрасывание» почв, является одним из широко распространенных процессов трансформации лесных экосистем таежной зоны. В результате экономических реформ в России в 1990-х годах из оборота были выведены значительные территории. По различным оценкам площадь сельскохозяйственных земель, выведенных из использования, составляет от 34-46 млн. га до 44-47 млн. га (Агроэкологическое …., 2008; Люри и др., 2010; Изменение природной…, 2012). Полевые исследования процессов восстановления экосистем, происходящих на залежных землях, были проведены на территории Астраханской, Новгородской, Псковской областей (Люри и др., 2010; Kalinina et al., 2009), Башкортостана (Сайфуллина и др., 2008), Костромской (Владыченский и др., 2013; Телеснина, 2015), Тверской (Баранова, 1987), Ленинградской (Сушков, 1974), Воронежской (Хитров и др., 2009) областей. Наиболее катастрофические изменения сельскохозяйственных земель происходили на территории таежной зоны, площадь залежей изменялась от 10 до 40 % (Люри и др., 2010; Изменение …, 2012). Исследования, направленные на изучение изменений растительности и почв в ходе постагрогенных сукцессий на территории средней тайги носят единичный, описательный характер (Елькина и др., 2013; 2017). Наиболее полно изучены свойства постагрогенных, остаточно-карбонатных почв на территории Архангельской области (Наквасина, Голубева, 2014). Показано, что на первых этапах зарастания залежи происходит интенсификация вертикальной дифференциации верхних горизонтов почвы. Сохранность морфологических признаков пашенного земледелия зависит от значительного числа факторов, среди которых значительную роль играет современный характер землепользования (Бобровский, 2010). Пирогенный фактор практически всегда является сопутствующим при вовлечении лесных почв в сельскохозяйственное использование, поскольку большинство участков проходят стадию подсек. Характер землепользования, в том числе и пирогенный фактор, не всегда учитывается при проведении оценки территории и пулов углерода, несмотря на

широкое распространение углистых включений в лесных почвах (Erb et al., 2016). Пирогенный углерод сохраняется длительное время и является достаточно большим и устойчивым пулом в составе ПОВ лесных почв (Ohlson et al., 2009).

Скорость постагрогенной сукцессии определяют зональная локализация и тип почв залежи, приводящие к тому, что на подавляющем большинстве из них идёт процесс восстановления естественной зональной растительности и естественных почв, близких к зональным. Некоторые из модифицирующих факторов действуют только на определенной стадии сукцессии, другие оказывают свое влияние на протяжении всего срока восстановления. В результате постагрогенное восстановление растительности даже в одних и тех же почвенно-климатических условиях может происходить с разным набором стадий. При этом почвы постагрогенных ландшафтов наиболее изучены для подзоны южной тайги и степной зоны (Углерод…, 2005; Васенев, 2008).

В настоящее время имеются достаточно скудные данные по характеру землепользования в таежных регионах Севера, одним из наиболее типичных является Республики Коми. Географическое расположение РК способствовало ее более позднему освоению и значительно меньшему воздействию на природную среду. Первое, наиболее масштабное воздействие человека на лесные экосистемы связано с развитием подсечного земледелия, наиболее распространенного в период XV-XVII веков, которое в дальнейшем сменилось трехпольем. Значительные территории вблизи «старых» населенных пунктов прошли стадии подсечного земледелия, но площадь лесов, затронутых подсечным земледелием, к настоящему времени подсчитать крайне затруднительно (Лесное хозяйство.., 2000). Невысокая плотность населения способствовала сохранению естественных лесных биогеоценозов на расстоянии 7-8 км и более, от крупных населенных пунктов. Более значительные территории были вовлечены в использование в течение конца XIX и XX веков. Начиная с конца прошлого столетия, наблюдается уменьшение площади сельскохозяйственных земель. Уменьшение происходит за счет сенокосов, площадь пашни остается практически неизменной. В целом, можно предположить, что более значительные площади, чем считалось ранее, были затронуты подсечным земледелием и в дальнейшем выведены из использования.

Несмотря на суровые климатические условия, лесные почвы РК подвергались существенному сельскохозяйственному использованию (Сельское …, 2009). Наиболее благоприятными для земледелия являются почвы южных и юго-западных районов РК. Согласно (Атлас…, 2011) 5-10 % от лесопокрытой площади занимают леса, сведенные под пашни, сенокосы, выпасы и пастбища. К настоящему времени к землям сельскохозяйственного назначения в Республике Коми относят – 1 861 тыс. га, или 4.5 % общей площади РК (рис. 1.5). Земли сельскохозяйственного назначения приурочены к южным и среднетаежным районам, а также окрестностями крупных населенных пунктов. В составе сельскохозяйственных земель более половины составляют сенокосы (Сельское …, 2009; Агропромышленный…, 2011), и именно они, в отличие от более южных регионов России, представляют основу залежных земель (рис. 1.6). В то время как площадь пашни остается практически постоянной.

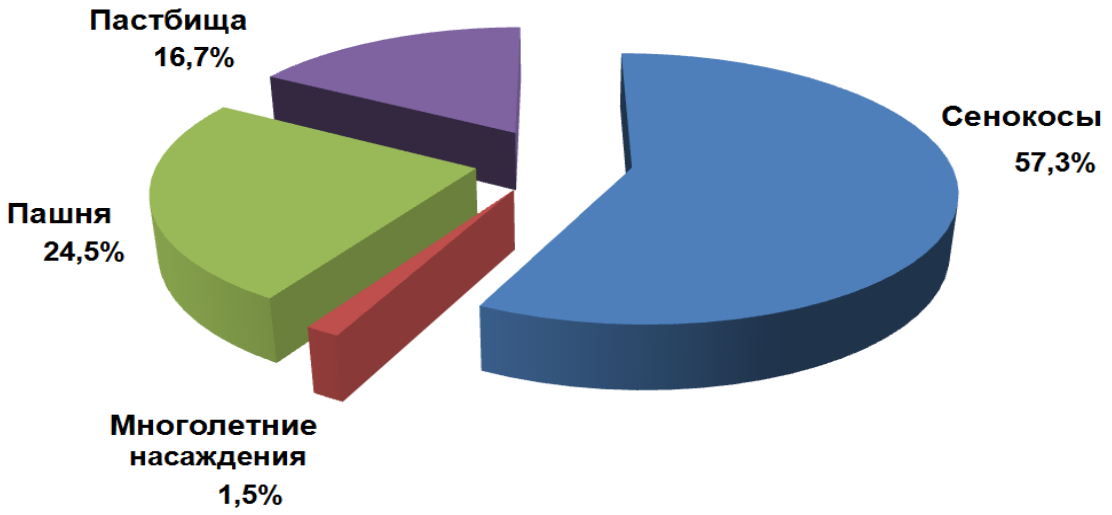


Рисунок 1.5. Структура сельскохозяйственных угодий на территории РК (на 2009 год). По: Сельское хозяйство…, 2009.

При данной оценке не учитываются участки, затронутые подсечным земледелием, и представляющие значительные территории вблизи «старых» населенных пунктов и вдоль рек (Алейников и др., 2015).

Работы, проведенные в других регионах, показали, что в постагрогенных экосистемах происходит интенсивное накопление углерода, как в почве, так и в растительности (Guo, Giffort, 2002; Pan et al., 2011; Люри и др., 2013; Курганова, Кудеяров, 2015). В первую очередь под формирующейся древесной

растительностью видоизменяются органогенные горизонты почв (Vesterdal et al., 2008). Верхние органогенные горизонты оказывают решающее значение на дальнейшие изменения минеральных горизонтов почв (Zanella et al., 2011). Для оценки роли залежей в углеродном цикле необходимы данные об интенсивности эмиссии диоксида углерода с поверхности почвы. Эмиссия CO_2 с поверхности почв залежей, в отличие от лесных сообществ изучена явно недостаточно. Так, Кургановой с соавт. (2007) определен баланс углерода в залежах Подмосковья. Авторами отмечено, что скорость выделения углекислого газа увеличивается с возрастом залежи. Залежь превращается из источника углерода в сток на 5-й год развития. Ананьевой (2009) определена биомасса и продуцирование CO_2 микроорганизмами в дерново-подзолистых почвах агроценозов, представляющими собой сукцессионный ряд. Показано, что интенсивность выделения CO_2 из лесных почв значительно выше, по сравнению с залежами разных лет. Эмиссия CO_2 с поверхности почв постагрогенных ландшафтов на территории Европейского северо-востока России практически не исследована.

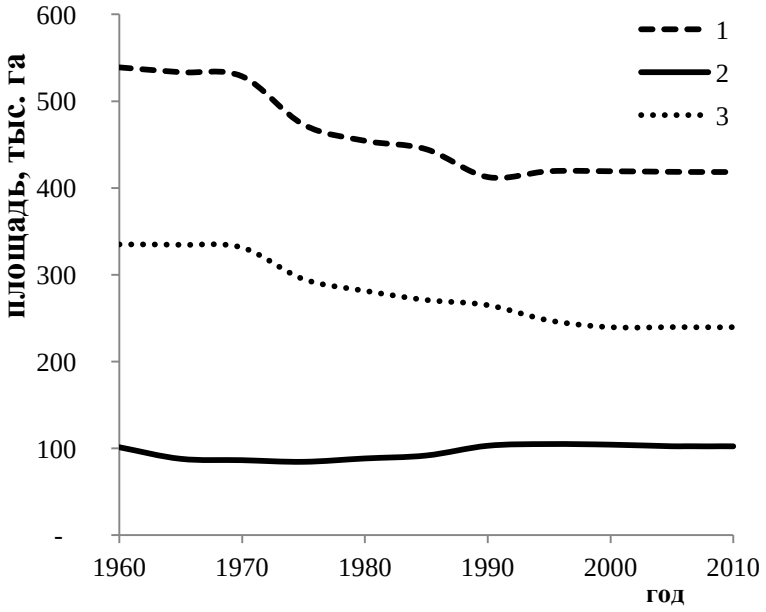


Рисунок 1.6. Динамика сельскохозяйственных земель на территории РК. Обозначения: 1 – сельхозугодия; 2 – пашня; 3 – сенокосы.

Анализ современной литературы показал, что почвы залежей достаточно детально изучены для подзоны южной тайги, зоны хвойно-широколиственных лесов, лесостепной зоны. При этом проблемам постагрогенной сукцессий почв и почвенного органического вещества среднетаежной зоны посвящены единичные, в основном описательные работы. Можно предположить, что прямое сравнение будет не корректным, поскольку для северных регионов характерна своя специфика землепользования, зачастую значительно отличающаяся от более

южных регионов. Специфика землепользования в подзоне средней тайги приводит к тому, что в первую очередь из сельскохозяйственного пользования выводятся сенокосные угодья. Обобщающие работы по почвам залежей (Kurganova et al., 2015; Kalinina et al., 2015) практически не затрагивают данные аспекты постагрогенных сукцессионных изменений. Вопрос изменения содержания углерода ПОВ в постагрогенных экосистемах средней тайги остается практически не изученным. Отсутствуют данные по особенностям почвенного органического вещества, несмотря на достаточно большие площади забрасываемых земель.

Характер изменений углерода в постагрогенных почвах носит дискуссионный характер. Poeplau и Don (2013) показали, что свободное органическое вещество является достаточно чувствительным индикатором характера землепользования. На примере почв южнотаежных ландшафтов, выявлено, что в почвах залежей происходит возрастание общего углерода в верхних минеральных горизонтах за счет фракций свободного и связанного с минеральными составляющими, органического вещества (Kalinina et al., 2015). В почвах заброшенных сенокосных угодий в Костромской области отмечается некоторое уменьшение содержания гумуса на первых стадиях сукцессий (Владыченский и др., 2013), в то время как в заброшенных пахотных почвах наблюдается возрастание углерода (Kalinina et al., 2015; Рыжова и др., 2015). Показано, что уменьшение содержания органического углерода в ряду целина-севооборот-бессменные пары происходит за счет легко-минерализуемой фракции (Семенов, Когут, 2015).

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.

1.5. Органическое вещество лесных почв и его современные изменения

Органическое вещество таежных почв – это сложная открытая система, состоящая из значительного числа различных пулов, фракций и отдельных органических соединений (Ваксман, 1937; Тюрин, 1937). Разнообразие органических соединений, присутствующих в почвах, обуславливает многовариантность и поливекторность механизмов стабилизации органических веществ в почвах (Семенов, Когут, 2015). Количество, состав и изменение органического вещества (ОВ) в почвах в значительной мере определяют свойства почв и объясняют особенности почвообразования (Кононова, 1963; Александрова, 1980; Пономарева, Плотникова, 1980; Дергачева, 1984; Орлов, 1990, 2003, 2005; Perminova et al., 2014).

В связи со значительными концентрациями углерода, сосредоточенного в лесных экосистемах, содержанию и изменению состава соединений углерода посвящено существенное количество работ. Показано увеличение емкости и скорости биокруговорота веществ и энергии в производных лесах (Фирсова и др., 1991). Выявлено, что при рубке древесины происходит вынос биофильных элементов, сосредоточенных в биомассе (Бобкова, Лиханова, 2012), на вырубках происходит увеличение доли крупных древесных остатков и пней (Замолодчиков, 2009, Мухортова, Ведрова, 2012; Finer et al., 2002; Melin et al., 2009; Palvainen и др., 2010), оценена динамика вклада различных компонентов древесного опада в ходе естественного лесовозобновления после рубки леса (Дымов и др., 2012б). Охарактеризованы общие закономерности трансформации ПОВ при растительных сукцессиях (Дымов и др., 2012а; Yanai et al., 2000; Kauppi, 2003; Qualls, 2004; Dymov, Lapteva, 2006; Dean, Roxburgh, 2006; Smolander, Heiskanen, 2007; Kurz et al., 2009). Показано, что важнейшей составляющей почвенного органического вещества, в первую очередь реагирующей на изменение биоклиматических условий почвообразования, являются лабильные (способные к миграции) фракции (Новгородова, Поздеев, 2009; Дымов, 2007; Evans et al., 2005; Monteith et al., 2007;). Практически не исследованными остается изменение форм и функциональных особенностей органического вещества (Jandl et al., 2007).

Современные исследования почвенного органического вещества (ПОВ) определяются возрастающими возможностями аналитической химии, позволяющими определить систему почвенного органического вещества с позиций супрамолекулярной химии и метаболомики (Piccolo, 1999, 2002; Милановский, 2009; Федотов, Шоба, 2015; Семенов, Когут, 2015; Lehmann, Kleber, 2015; Лукина и др., 2016), выявлении диагностической роли индивидуальных органических химических соединений (Заварзина и др., 2015; He et al., 2008, 2009; Stark et al., 2012; Jonsen et al., 2006; Knicker 2007; Knicker et al., 2013; Kogel-Knabner, Amelung, 2014;). Исследования почвенного органического вещества, проведенные Schmidt с соавтор. (2011) показали, что устойчивость почвенного органического вещества в значительной степени определяется условиями окружающей среды и биологическими параметрами, и в меньшей степени молекулярной структурой.

Большинство современных исследований почвенного органического вещества направлено на последовательное упрощение сложной системы ПОВ и выявление функционально значимых пулов и групп соединений, обладающих определенными свойствами, при сохранении «нативности» и «функций» отдельных фракций ПОВ (Милановский и др., 2008; Sutton, Sposito, 2005; Hutta et al., 2011). Идет дискуссия о необходимости подбора и совершенствования методов фракционирования и выделения пулов почвенного органического вещества. Показано, что необходимо развивать методы и технологии, позволяющие с минимальным воздействием на почву вычленять пулы органических соединений (с прогнозируемыми свойствами и механизмами поведения в экосистемах), при этом в зависимости от поставленных задач необходимо использовать различные методы и подходы для изучения почвенного органического вещества.

Опубликован ряд работ по особенностям индивидуальных органических соединений, выступающих биологическими маркерами происходящих в лесных экосистемах процессов в почвах тропических и субтропических лесов (Glaser et al., 2004; Jansen et al., 2006; He et al., 2008; 2009; Jonsen et al., 2006; Mendez-Millan et al., 2010; Spielvogel et al., 2016; Mourik et al., 2016). В данных работах показана высокая информативность содержания аминокислот, углеводородов, сиберин и кутин производных, мураминовой кислоты, Pg пигмента. Исследование препаратов гумусовых веществ с использованием современных физико-химических методов

выявило их значительную информационную роль как активных участников процессов почвообразования (Fujitaik, 1999; Abe, Watanabe, 2007; Kholodov et al., 2016). Существенную роль в современном процессе формирования ПОВ играют прекурсоры ГВ, представленные остатками древесной растительности, в частности лигниновые соединения хвойных и лиственных деревьев (Карманов, 2006). К настоящему времени выявлены особенности вклада лигниновых соединений в формировании специфических гумусовых веществ (Ковалева, Ковалев, 2009; Ковалев, 2016). Разработана методическая база разделения почвенного органического вещества как системы гидрофильно-гидрофобных соединений (Милановский, 2009). Определены механизмы миграции и закрепления отдельных компонентов органического вещества на основании использования вторичной ион-массовой спектроскопии в ненарушенных почвах (Herrmann et al., 2007; Mueller et al., 2013; Kogel-Knabner, Amelung, 2014). Показана информативность применения метода денсиметрического фракционирования ПОВ (рис. 1.7) при исследовании почв (Шаймухометов и др., 1984; Артемьева, 2010;

Рисунок 1.7. Схема состояния различных фракций ПОВ в почвах. По: Mastrolonardo et al., 2015.

Ларионова и др., 2015; Guggenberger et al., 1994; Wiesmeier et al., 2016) и его применение при оценке свойств углерода почв при сукцессиях растительности

(Моргун и др., 2010). Но при этом, рассматриваемые работы не затрагивают изменения почв и ПОВ в процессе вторичных сукцессий таежных экосистем.

Анализ современной литературы позволил выявить, что на пике современных исследований находятся работы, направленные на выявление функционально-значимых маркеров, групп соединений, фракций и пулов, с помощью которых можно прогнозировать устойчивость почв и почвенного органического вещества к антропогенному влиянию и климатическим изменениям.

ГЛАВА II. ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ РЕГИОНА ИССЛЕДОВАНИЯ. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

2.1. Характеристика региона исследования

Объекты исследования расположены на территории РК, занимающей значительную часть Северо-востока Европейской части России. РК – это один из крупнейших лесных регионов страны, представляющий около 40 % лесопокрытой площади европейского севера России (Леса …, 1999). В лесном фонде РК сосредоточено 30 млн. га, что составляет около 79 % ее площади (Государственный доклад.., 2013). Общая площадь РК – 416 тыс. км^2 (Атлас …, 2011), из них более 60 % относятся к подзонам средней и северной тайги, 39.5 и 25.4 % соответственно (Юдин, 1954). Объекты приурочены к средне и северотаежной подзонам, входящим в две лесорастительные провинции: Восточно-Европейскую равнинную и Западно-Уральскую (Леса…, 1999). Всего на территории северной и среднетаежных подзон выделено 23 геоботанических округа, обусловленные геоморфогенными параметрами территорий (Юдин, 1954).

2.1.1. Геоморфология, рельеф, почвообразующие породы

В геоморфологическом отношении объекты исследования затрагивают основные орографические области Северо-востока европейской части России: увалистую полосу западного макросклона Урала, Южно-Печорской равнины, среднюю и южную часть Тиманской возвышенности, Вычегодско-Мезенскую равнину и восточные отроги Северных Увалов (Варсанофьева, 1953).

Исследуемая часть Южно-Печорской равнины характеризуется преобладанием плоских заболоченных пространств, дренированные приречные полосы имеют незначительную ширину. Равнина имеет общий уклон к северу, несколько повышается к Тиману и Уралу (Варламов, 1953). Тиманский кряж представлен полосой сглаженных холмистых возвышенностей. В наиболее возвышенных частях Тимана рельеф приобретает полугорный характер.

Основными элементами Вычегодско-Мезенской равнины являются обширные водораздельные плато. Равнина имеет общий уклон на запад и северо-запад. Отроги Северных Увалов состоят из отдельных плосковершинных возвышений и плоских холмов, разделенными обширными, сильно заболоченными понижениями. Низины выполнены песчаными наносами, мощность и характер сортированности которых в пределах даже одной котловины могут существенно различаться.

Согласно (Подзолистые…, 1980) почвообразующие породы на исследуемой территории представлены следующими генетическими группами: ледниковые образования (морены); покровные – постледниковые суглинки и супеси; водно-ледниковые и древнеаллювиальные песчаные наносы; двучленные толщи. Двучленные наносы преимущественно представлены песками и супесями, подстилаемыми с глубины 60-80 см моренными суглинками (Забоева, 1975).

Морена выходит на поверхность только в зоне последнего, Валдайского оледенения и местах проявления эрозии. Почвообразующими породами может являться порода разного возраста. В составе моренных отложений наблюдаются значительные колебания как по степени завалуненности и хрящеватости, так и по степени оглинненности ее массы.

Покровные отложения залегают на моренных и флювиогляциальных отложениях различных эпох оледенения или на поверхности коренных пород во внеледниковой области. Покровные суглинки залегают на поверхности водораздельных возвышенностей. Характерной чертой покровных суглинков является преобладание крупнопылеватых фракций, составляющих 40-55 % от массы. В низинах они замещаются толщами флювиогляциальных песков и двучленных отложений.

2.1.2. Климат

Район исследования характеризуется умеренно-континентальным умеренно-холодным климатом (Алисов, 1956). Подзона северной тайги характеризуется

Таблица 2.1. Среднемесячная и годовая температура, среднесуточное количество осадков (по данным многолетних наблюдений)*

Метеостанция	Месяц												год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Температура, ºС													
Усть-Щугор	-19.6	-17.5	-10.7	-2.5	+4.1	+11.9	+15.7	+12.3	+6.4	-1.4	-10.5	-16.5	-2.4
Ухта	-16.9	-15.2	-8.0	-0.5	+5.8	+12.7	+16.0	+12.6	+6.6	-0.7	-8.8	-13.7	-0.8
Кослан	-15.4	-13.2	-6.0	+1.8	+8.6	+14.6	+17.2	+13.6	+7.9	+0.9	-6.6	-12.0	+1.0
Сыктывкар	-15.3	-13.4	-7.0	+0.9	+7.4	+13.9	+16.7	+13.8	+7.8	+0.6	-6.9	-13.0	+0.5
Усть-Кулом	-16.3	-14.3	-7.3	+0.8	+7.5	+14.0	+16.6	+13.4	+7.5	+0.1	-7.8	-13.1	+0.2
Объячево	-14.3	-12.5	-5.9	+2.0	+8.8	+14.7	+17.0	+14.1	+8.2	+1.1	-6.2	-11.5	+1.3
Осадки													
Усть-Щугор	1.7	1.4	1.5	2.2	2.7	4.0	4.5	4.1	3.5	2.8	2.2	1.9	2.7
Ухта	1.2	1.1	1.2	1.9	2.3	3.6	4.1	3.5	2.7	2.3	1.5	1.4	2.3
Кослан	1.4	1.3	1.4	2.1	3.0	4.0	4.3	4.1	3.2	2.6	1.9	1.6	2.6
Сыктывкар	1.5	1.3	1.6	2.2	2.9	3.8	4.7	3.9	3.3	2.5	1.9	1.7	2.6
Усть-Кулом	1.6	1.4	1.5	2.2	2.7	4.0	4.2	3.8	3.0	2.4	2.1	1.8	2.6
Объячево	1.4	1.3	1.4	2.1	3.2	4.3	4.5	4.0	3.4	2.6	1.8	1.5	2.6

*По данным сайта ГУ «Коми ЦГМС» http://meteork.ru.

умеренно-холодной зимой и прохладным летом, со сравнительно коротким безморозным периодом. Среднегодовая температура воздуха составляет минус 0,8-2,5 ºС (табл. 2.1). Продолжительность вегетационного периода (дни с t>+5ºС) – 120-140 дней. Сумма осадков – 600-750 мм. В теплый период выпадает до 65 % осадков.

Среднетаежная область характеризуется среднегодовой температурой воздуха от -1.3 до +1.3ºС. Период с отрицательными температурами длится 175-185 дней. Продолжительность вегетационного периода 140-150 дней. Годовая сумма осадков за год варьирует от 670 до 790 мм (Атлас…, 1997). По классификации Димо (1972) исследуемые почвы относятся к длительно сезоннопромерзающему типу.

2.1.3. Растительность

Леса являются основным типом растительности Республики Коми. По степени облесения РК занимает одно первых мест среди регионов РФ. Основные лесные ресурсы и лесопокрытые площади сосредоточены в подзонах средней и северной тайги. Главными лесообразующими породами являются ель, сосна и береза (Юдин, 1954). Еловые леса господствуют на территории среднетаежной и северотаежной подзон и являются характерными для большинства геоботанических округов и районов. Они преобладают на плакорах и часто приходят на смену другим формациям (Юдин, 1954). В северной тайге ельники занимают чуть более 5 млн. га. Наиболее представлены долгомошные (45.5 %), зеленомошные (34.6 %) и сфагновые (16.2 %) группы типов. Основу составляют спелые и перестойные леса (82.1 %) (Коренные…, 2006). В средней тайге еловыми лесами занято 6.7 млн. га. Почти половину (47.6 %) занимают ельники зеленомошной группы. Ельники долгомошной группы занимают около 36.8 % от среднетаежных ельников, сфагновой – 12.2 %.

Сосновые леса занимают второе место по занимаемой площади. В сосновых лесах выделено 102 ассоциации, объединенные в 7 групп. Коренными обитаниями сосняков принято считать лишь сухие боровые террасы и сфагновые сообщества. На водораздельных пространствах сосняки обычно сильно заболочены. В северотаежной подзоне наибольшее распространение имеют сосняки сфагновые (37.3 %), зеленомошные (33.8 %), лишайниковые (20.5 %). В среднетаежной

подзоне доминируют сосняки зеленомошные (47.6 %), сфагновые (26.3 %), лишайниковые (13.9 %) (Бобкова, 1987).

Согласно оценкам Ильчукова (2012) производные насаждения в средней тайге составляют 13.4, в северной - 15.0 %. При этом, сосновые леса нарушены в большей степени, чем еловые.

2.2. Объекты исследования

Объекты исследования преимущественно расположены на территории средней и северной тайги на территории Республики Коми (рис. 2.1). Основные объекты представлены в таблицах 2.2-2.4. Подробные морфологические описания фитоценозов и почв представлены в приложениях 1.1, 2.1 и 3.1.

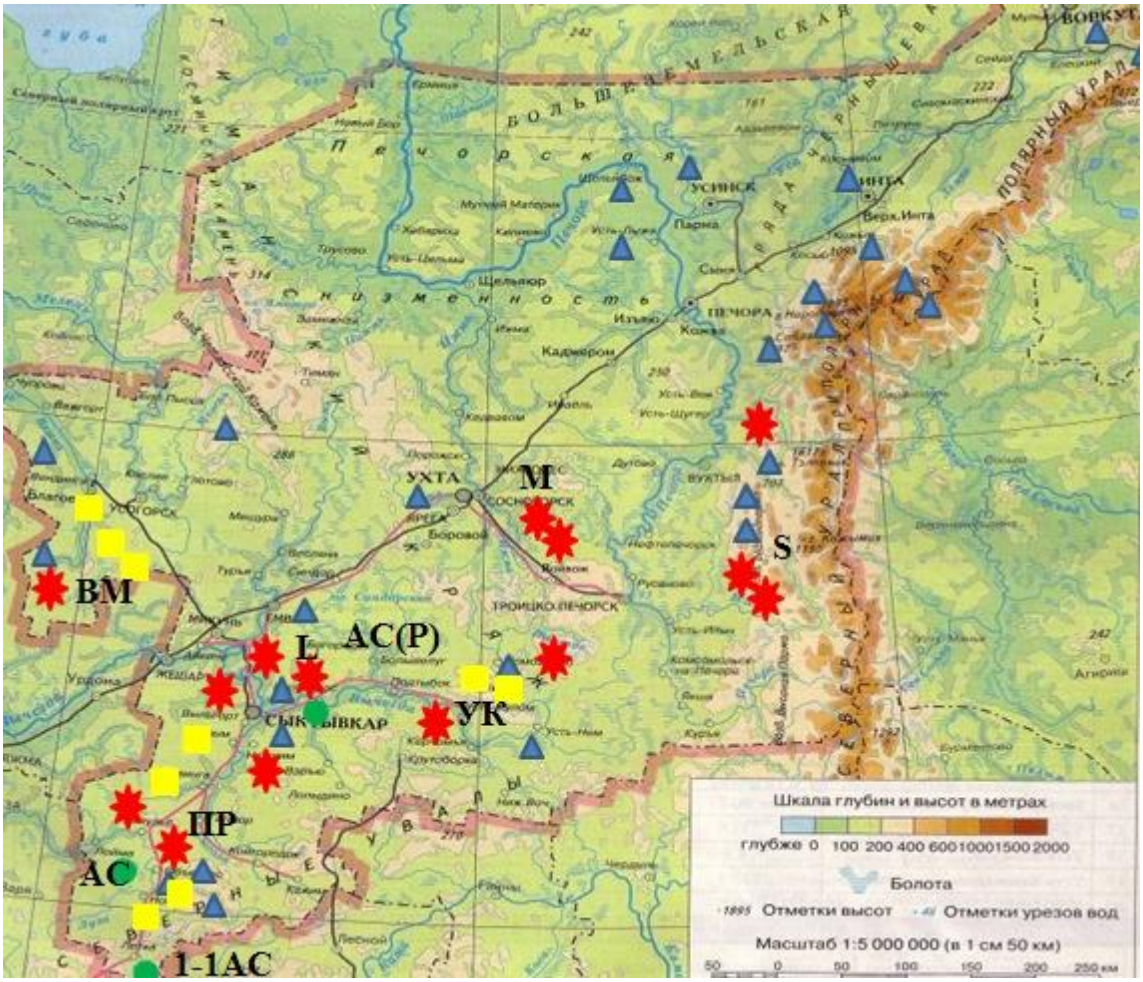


Рисунок 2.1. Схема расположения объектов исследования. ▲ – почвы естественно развивающихся фитоценозов; ✸ – постпирогенные ; ■ – послерубочные; ● – постагрогенные фитоценозы.

2.2.1. Почвы лесных экосистем

В работе приведена характеристика почв естественно развивающихся биогеоценозов. Почвы ненарушенных участков преимущественно располагались на ООПТ. В работе приведены данные по свойствам лесных почв национального парка Югыд ва, Печеро-Илычского заповедника, заказников «Удорский», «Корабельная чаща», «Енганапэ», «Маджский» (Кадастр…, 2014).

2.2.2. Почвы послерубочных биогеоценозов

Для изучения влияния промышленных рубок на почвы были исследованы два ряда вырубок в подзоне средней тайги РК. Первый хроноряд (Усть-Куломский р-н) представлен участками, на которых происходит возобновление растительности после сплошнолесосечной рубки ельника черничного, формирующегося на суглинистых подзолистых почвах. Исследуемые сообщества расположены в южной части Тиманского кряжа, на возвышенности Джежимпарма, состоящей из серии рассеченных высоких гряд и холмов, с абсолютными высотами 250-320 м (Путеводитель…, 2007; Дымов и др., 2012а). Согласно почвенно-географическому районированию объекты исследования располагаются в Южно-Тиманском округе Вычегодской провинции среднетаежной подзоны типичных подзолистых почв (Руднева и др., 1981). Исследовали почвы коренного ельника (1УК), вырубки (2УК) и лиственно-хвойного фитоценоза, развивающегося после рубки ельника (3УК).

Второй хроноряд представлен участками, на которых происходит естественное возобновление растительности после рубки сосняка бруснично-зеленомошного (Прилузский р-н). Объекты исследования расположены на южном пределе среднетаежной подзоны.

Таблица 2.2. Краткая характеристика почв лесов, подвергнувшихся рубкам

Учас-ток	Период после рубки, лет	Тип почв	Строение профиля опорных разрезов
Исходный тип леса – ельник черничный			
1УК	К*	Подзолистая	O-(e-hi, f)-EL-BEL-BT-BC
2УК	6-13	Подзолистая поверхностно-глееватая	O-ELg, hi, f-BEL-BT-BC
3УК	38-45	Подзолистая	O-ELn, hi-BEL-BT-BCg
Исходный тип леса – сосняк бруснично-зеленомошный			
1ПР	К	Подзол литобарьерный	O-Ehi-BF-BDe-BDg
2ПР	10	Торфяно-подзол глеевый литобарьерный	O-Eg-BFg, n/BGf, n-BDe, g-BDg
3ПР	21	Подзол литобарьерный глееватый	O-Ehi, g-BFg-BDe, g-BDg
Исходные типы леса – ельники черничные, сосняки бруснично-зеленомошные			
1Т-7Т	2-45	Турбоземы детритные	O(L)/AY-TUR1cwd – TUR2cwd, g, d –[CWD/O]– BTg – BTg.

* – здесь и далее, К – условно-фоновый участок.

В геоморфологическом отношении они принадлежат территории Вычегодской части Вычегодско-Мезенской равнины, характеризующейся преобладанием плоских водоразделов (Варламов, 1953). В работе проанализированы почвы трех участков, на которых рубку проводили в 1994 (2ПР), 1983 (3ПР), а так же условно-фоновый участок (1ПР) – сосняк бруснично-зеленомошный (недоруб, оставленный в ходе лесозаготовки).

Условно-фоновые участки расположены в непосредственной близости с послерубочными и характеризуются близкими условиями функционирования по расположению в рельефе и типу растительности (дорубочным).

Для выявления нарушений, связанных с воздействием тяжелой лесозаготовительной техники, исследованы почвы лесопогрузочных площадок и трелевочных волоков (1-7Т) с известным временем, прошедшим с момента воздействия. Краткая характеристика объектов представлена в таблице 2.2. Морфологические описания приведены в приложении 1.1 и физико-химические свойства в приложениях 1.2-1.8

2.2.3. Почвы постпирогенных лесных биогеоценозов

Исследования пирогенных нарушений проводили на территории биогеоценозов, расположенных в подзонах средней и северной тайги Республики Коми. Объекты исследования расположены в Усть-Куломском, Сыктывдинском, Корткеросском, Удорском, Сосногорском и Троицко-Печорском районах республики. Были подобраны участки с близкими геоморфологическими и лесорастительными условиями. Для выявления влияния пирогенеза были изучены подзолы иллювиально-железистые, формирующиеся под сосняками лишайниковыми, пройденными пожарами 1 (2L), 2 (3L), 10 (4L) и 16 (5L) лет назад. В качестве условного фона использован подзол иллювиально-железистый, формирующийся под сосняком лишайниковым (1L). Исследованы участки сосняков бруснично-зеленомошных, пройденных пожарами за 50 (2BM), 48 (3BM), 83 дня (4BM) и 2 года (5BM, 6BM) до отбора образцов. В качестве фонового участка был выбран коренной сосняк кустарничково-зеленомошный (1BM), формирующийся на территории ботанического заказника «Корабельная чаща», одного из наиболее крупных среднетаежных сосновых массивов, незатронутых рубками, расположенного в средней тайге (Междуреченский лесхоз, Удорский район, РК). Согласно почвенно-географическому районированию они расположены в Пинего-Вашкинском почвенном районе, расположенном на границе РК и Архангельской области (Объяснительная…, 1976).

Пирогенное воздействие в ельниках изучено на примере постпирогенного девятилетнего лиственно-хвойного молодняка, сформировавшегося после пожара в ельнике чернично-зеленомошном. Исследуемые участки расположены в верхнем течении р. Илыч. Согласно схеме почвенно-географического районирования ЕТР, территория исследований находится в предгорном увалистом районе глееподзолистых и торфяно-подзолисто-глеевых почв северной тайги (Государственная…, 2005). В зоне влияния пожара было заложено два разреза – в центре участка подвергшегося пожару (2S-1) и на участке, не испытывавшем прямого воздействия огня, расположенном на окраине (2S-2), пройденного пожаром древостоя в геохимически подчиненном ландшафте на склоне к р. Золотой ёль (Дымов и др., 2015а). В качестве условно-фонового был подобран

участок, формирующийся в схожих ландшафтных условиях с близким составом растительности и типом почв (1S).

Таблица 2.3. Краткая характеристика постпирогенных объектов исследования

Обозначение	Период после пожара, лет/ дней	Тип почвы	Строение профиля опорных разрезов	Вид пожа-ра*	Доля поврежден ия деревьев первого яруса, %**
Сосняки лишайниковые					
1L (16-13)	К	Подзол ил.-железистый	O(L)-O(F+H)-E-BF-BC		0
2L (29-14)	1 год	Подзолы иллювиально-железистые пирогенные	Qpyr/L- Epyr-E-BF-BC	II	до 30
3L (15-13)	2 года		Qpyr/L-Qpyr(Epyr)-E-BF-BC		80
4L (18-13)	10 лет		Qpyr/L-Qpyr-E-BF-BC		до 30
5L(17-13)	16 лет		O(L)-Qpyr-E-BF-BC		до 30
Сосняки бруснично-зеленомошные					
1BM(70-12)	К	Подзол ил.-железистый	O(L)-O(F+H)-E-BF-BC		0
2BM(72-12)	50 дн.	Подзолы иллювиально-железистые пирогенные	Qpyr/L-O(F)pyr-Epyr-Bhi(pyr)-BC	I	до 20
3BM(6-УК-13)	48 дн.		Qpyr/L-O(F)-E-BF-BC		
4 BM(18-14)	83 дня		Qpyr/L-O(F)pyr-Epyr-BF-BC		
5BM (8-15)	2 года				
6BM (9-15)	2 года				
Ельники чернично-зеленомошные					
1S (24-09)	К	Подзолистая	O-EL-BEL-BT		0
2S (25-09)	9 лет	Подзолистая пирогенная	Qpyr-ELpyr-ELf-BEL-BT	II	100
3S (27-15)	100 лет		O-Qpyr-ELpyr-EL-BEL-BT-BC		
4S (16-14)	154 года				
Сосняки сфагновые					
1M (104-12)	К	Торфяно-подзол	Оч.-O(F)-O(H)-E-BHFn-BC		0
2M (25-14)	1 год	Торфяно-подзолы пирогенные	Qpyr/L-O(F)-Ehi,pyr-BHF-BCg	I	до 30
3M (26-14)	1 год		Qpyr/L-O(F)-O(H)-E-BH-BF-BCg1-BCg2		
4M (28-14)	3 года		Opyr/L-OF)pyr.-O(H)-E-BHF-BC		

I – низовой беглый; II – низовой устойчивый (по: Залесов, 1998).

** глазомерно, при проведении полевых исследований.

Сохранность пирогенных признаков оценивали на примере ельников, подвергавшихся пирогенезу 100 (3S) и 150 лет (4S) после пожара, расположенных на территории Северных Увалов.

Сосняки сфагновые, подверженные пирогенезу, исследовали на заболоченных водораздельных пространствах Сыктывдинского и Ухтинского районов. На исследуемых участках преобладали низовые беглые и низовые устойчивые пожары. В сосняках лишайниковых и ельниках чернично-зеленомошных подстилки уничтожены полностью, в сосняках брусничных и сфагновых – выгорела лишь часть наиболее сухой подстилки. В почвах полугидроморфных ландшафтов (сосняки сфагновые) выгорание подстилки происходило очагами, в местах наиболее сухого растительного материала. Образцы отбирали на наиболее нарушенных участках. В качестве условно-фоновых почв были подобраны участки, близкие по типу леса, почвообразующим породам и геоморфологическим условиям. Общая характеристика исследуемых участков приведена в таблице 2.3, подробные морфологические описания представлены в приложении 2.1 и физико-химические свойства в – приложении 2.2-2.14

2.2.4. Почвы постагрогенных лесных экосистем

В качестве постагрогенных участков были подобраны серия и пары почв с различной историей сельскохозяйственного использования. В качестве основной была исследована хроносерия в среднетаежной подзоне (Прилузский район, РК), состоящая из следующих точек наблюдений: 1АС – ельник чернично-зеленомошный (условно-фоновый), 2АС – разнотравный луг (7 лет), 3АС – березняк разнотравный (19 лет), 4АС – ельник кисличный (85 лет). Исследуемые участки расположены в непосредственной близости друг от друга (расстояние между крайними точками около 4 км). В отличие от большинства работ, описывающих изменение почв залежей, мы за начальную точку (или нуль момент сукцессии) приняли почвы условно-коренных лесов. Но при этом, возможно предположить, что рассматриваемые территории (2-4 АС) несколько отличаются по особенностям землепользования. Участок 1АС представлен ельником чернично-

зеленомошным, практически не нарушенным антропогенным влиянием, с естественно развивающимися почвами, представленными комплексом подзолистых текстурно-дифференцированных почв. На участке отмечена заготовка единичных крупных деревьев в начале 20 века с конной зимней трелевкой древесины.

На участке 4АС, выведенном из активного сельскохозяйственного использования в 1930 г. (на момент исследований 85 лет), наблюдается восстановление древесной растительности. Участок проходил через стадии подсеки с последующей конной вспашкой. Почвы на рассматриваемом участке отнесены нами к агродерново-подзолистым текстурно-дифференцированным почвам.

Участки 2АС и 3АС имеют наиболее длительные этапы антропогенного воздействия, поскольку расположены на наименьшем удалении от села. Можно предположить, что участок 2АС был освоен в первую очередь во времена заселения территории (14-15 вв.), участок 3АС осваивали несколько позднее. Участки 2АС и 3АС, помимо стадии подсечного земледелия, проходили этапы выращивания сельскохозяйственных культур (рожь, лен, горох, клевер, картофель) с вспашкой механизированной техникой до глубины 30 см в 50-70-х годах прошлого века. Далее участки использовали в качестве сенокосных угодий частными фермерскими хозяйствами. Рассматриваемые участки выведены из активного сельскохозяйственного пользования 7 (2АС) и 19 лет (3АС) назад. Несмотря на большую глубину вспашки, на рассматриваемых участках сохранились признаки языковатости субэлювиального горизонта, характерные для Retisols Reference soil group. Почвы на рассматриваемом участке отнесены нами к агроземам текстурно-дифференцированным. Абсолютные высоты участков варьируют от 140 до 150 м. над уровнем моря.

Кроме этого, были подобраны две пары участков сенокосных угодий, выведенных из использования в начале 2000-х годов. Первая пара объектов исследования располагалась в подзоне средней тайги Корткеросского района РК. Согласно почвенно-географическому районированию участки расположены в Вымь-Вычегодском округе типичных подзолистых почв и иллювиально-железистых подзолов Сысола-Вычегодской провинции (Государственная…, 1958). Разрез условно-фоновой почвы заложен на территории регионального заказника «Маджский» (1АС(Р)) и имеет типичное для подзолов иллювиально-железистых

морфологическое строение. Постагрогенный участок (2АС(Р)) расположен на первой надпойменной террасе правого берега р. Маджа. Наиболее вероятно, что вовлечение в сельскохозяйственное пользование началось в 30-х годах прошлого века, во время формирования спецпоселения Расью. В 70-80-х годах прошлого века на участке проводилась механизированная вспашка и засевание многолетними травами. В предыдущие десятилетия участок использовался в качестве сенокоса. Выведен из использования 8 лет назад (определено по возрасту древостоя). Лесовозобновление происходит за счет единичных особей сосны и осины. В напочвенном покрове доминируют: щучка дернистая, лисохвост, тысячелистник. Почва – агродерново подзол иллювиально-железистый (оподзоленный) (2АС(Р)). Почвы 1АС(Р) и 2АС(Р) формируются на песчаных отложениях.

Таблица 2.4. Краткая характеристика постагрогенных объектов исследования

Учас-ток	Время с момента забрасывания, лет	Тип почв	Строение профиля опорных разрезов
Ельники чернично-зеленомошные			
1АС	К	Подзолистая текстурно-дифференцированная	O(L)-O(F)-O(H)-ELhi-ELg-BEL-BT
2АС	7	Агроземом текстурно-дифференцированный	AY-P-BEL-BT
3АС	19		AY-P-EL-BEL-BT
4АС	85	Агродерново-подзолистая текстурно-дифф.	O(L)-O(F+H)-P-EL-BEL-BT
1-1АС	К	Подзолистая текстурно-дифференцированная	O(L)-O(F)-O(H)-EL-BEL-BT
1-2АС	8	Агрозем текстурно-дифференциров.	P1-P2-P3-BEL-BT
Сосняки бруснично-зеленомошные			
1АС(Р)	К	Подзол илл.-железистый	O(L)-O(F)-O(H)-E-BF-BC
2АС(Р)	8	Агродерново-подзол илл.-жел.	P1-P2-E-BF-BC

Два объекта исследования расположены на северном пределе подзоны южной тайги на территории Прилузского района РК. Согласно почвенно-географическому районированию объекты относятся к среднерусской провинции Летского округа дерново-подзолистых почв (Руднева и др., 1981). В качестве условно-фонового был исследован участок ельника кустарничково-зеленомошного ненарушенного

лесного массива, расположенного в верховьях р. Летка. Почва имеет типичное для подзолистых почв строение (1-1АС). Постагрогенный участок (1-2АС) расположен на первой надпойменной террасе правого берега р. Летка. Участок имеет наиболее длительную сельскохозяйственную историю использования. Вероятно, что он был вовлечен в использование в 17-18 веках. Изначально на нем выращивали лен, овес, рожь и пшеницу. Во второй половине 20-го века участки перепахивали с использованием механизированной техники, засевали различными смесями с горохом, овсом, рожью и клевером, что в целом совпадает с общими тенденциями ведения сельского хозяйства региона (Лаптева и др., 2016). Окончательно сенокосные угодья были заброшены 10 лет назад. Лесовозобновление идет преимущественно сосной высотой от 3-6 метров. Подрост – сосна, ива, береза. Доминируют луговые виды – лисохвост, клевер средний, зверобой, клевер ползучий, тимофеевка луговая. Почва диагностирована как агрозём текстурно-дифференцированный (2АС(Р)). Можно предположить, что все постагрогенные участки проходили стадии подсечно-огневого земледелия, конной и далее механизированной пахоты. Исходные почвы постагрогенных участков были близки к условно-фоновым участкам. Описания участков представлены в приложении 3.1, физико-химические свойства в приложениях 3.2- 3.5.

2.3. Методологические подходы и методы исследования

2.3.1. Критерии выбора объектов исследования

Изменения лесных почв во временном диапазоне $n \cdot 10^{1-2}$ лет относят к средневременной динамике почв – наименее изученной составляющей эволюции почв (Карпачевский, 1997). Изменение растительных сообществ в ходе сукцессий изучены достаточно подробно, составлены классификации сукцессий растительных сообществ (Александрова, 1964; Миркин, Наумова, 2012). Современные сукцессии лесных почв в значительной степени определяются влиянием антропогенного фактора. К настоящему времени достаточно детально разработаны особенности ветровальных сукцессий в естественных лесных сообществах (Васенёв, 2008; Васенёв, Таргульян, 1995). При этом оценка особенностей послерубочных вариантов почвенных сукцессий имеет разрозненный характер. Под почвенными сукцессиями (ПС) понимали развитие почв после влияния внешнего фактора в средневременном интервале эволюции (с момента воздействия до $n*10^{1-2}$ лет).

Исследования типичных (естественных) почв бореальных лесов, преимущественно проводили на особо охраняемых территориях Республики Коми, или в сообществах с минимальным антропогенным воздействием. Изучение почв в ходе послерубочных, постпирогенных и постагрогенных сукцессиях проводили на территориях, близких по исходному типу леса, ландшафтному положению, исходному типу почв и характеру воздействия. Для восстановления истории землепользования использовали данные таксационных карт лесхозов, опрос местных жителей и данные дендрохрологических результатов обследований.

2.3.2. Традиционные методы химического анализа и классификация почв

Химический анализ почв выполнен в экоаналитической лаборатории Института биологии Коми НЦ УрО РАН классическими методами анализа (Теория и практика…, 2006). Общее содержание углерода и азота – на анализаторе EA-1100 (Carlo Erba). Обменные катионы извлекали ацетатно-аммонийной вытяжкой (pH 7) с последующим определением на атомно-эмиссионном спектрофотометре ICP Spectro ciros. pH водный, солевой и гидролитическую кислотность – потенциометрически со стеклянным и хлорсеребряным электродами, гранулометрический состав – по Качинскому с диспергацией и кипячением в присутствии NaOH. Оксалаторастворимые формы Fe_2O_3 и Al_2O_3 (по Тамму) и дитиониторастворимые формы Fe_2O_3 (по Меру и Джексону) определяли классическим методом (Теория и практика…, 2006). Объемные веса в подстилках и минеральных горизонтах определяли согласно (Вадюнина, Корчагина, 1986), объемные веса в высоко щебнистых грунтах определяли согласно Зайдельману (Зайдельман, 1998). Запасы углерода и азота рассчитывали по формуле согласно (Смагин и др., 2001) с учетом рекомендаций (Hiederer and Köchy, 2011).

$$З=0.1*C*Sb*H*(1-Vs/100)$$

Где, З – запасы элемента (кг $м^{-2}$), C – содержание элемента (%), Sb – плотность почвы (г $см^{-3}$), H – мощность горизонта (см), Vs – объем крупнозема или льда (%).

Названия почв и индексация генетических горизонтов в настоящей работе приводится в соответствии с «Полевым определителем почв России» (2008). Цвет определяли по шкале Манселла (Standart…, 1970). Классификация лесных

подстилок проведена согласно принципам, представленным в работах Л.Г. Богатырева (1990,1996, 2004), Ponge (2003) и Zanella с соавторами (2011). Лесные подстилки подразделяли на несколько подгоризонтов, различающихся по морфогенетическим показателям: O(L), O(F), O(H). Для лесов с хорошо выраженным моховым ярусом выделяли отдельно подгоризонт очеса (Оч.). 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.

2.3.3. Определение состава опада во вторичных фитоценозах

Количественную оценку древесного опада производили согласно Родину с соавт. (1968) с использованием опадоуловителей площадью 0.25 $м^2$ в 14-ти кратной повторности. Опад собирали ежегодно в июне 2007-2009 гг. (на участках 1УК-3УК), в 2010 г (на участках 1ПР-3ПР). В лабораторных условиях проводили сушку, фракционирование на активную и неактивную фракции (Карпачевский, 1981) и пробоподготовку к химическому анализу. При расчетах поступления химических элементов использовали средние значения компонентов опада.

Определение C, N в компонентах опада проводили методом газовой хроматографии на анализаторе EA-1100 (Carlo Erba, Италия). Для определения минеральных компонентов проводили минерализацию согласно (Методические…, 2005) с последующим определением на атомно-эмиссионном спектрофотометре ICP (Spectro Ciros).

2.3.4. Методы химического анализа почвенного органического вещества

2.3.4.1. Хроматография гидрофобного взаимодействия

Для изучения амфифильных компонентов ГВ органического вещества почв использовали жидкостную хроматографию гидрофобного взаимодействия (ЖХГВ). Хроматографическое фракционирование проводили на колонке 1x10 см с гидрофобизированным гелем агарозы (Octyl Sepharose CL-4B, Pharmacia) на хроматографе BioLogic LP (BioRad, USA) в трехкратной повторности. Оптическую плотность элюата измеряли при 280 нм. Анализировали щелочные экстракты (0.1

н. NaOH) соотношение почва:раствор (1:10). От минеральных примесей экстракт и растворенные препараты очищали центрифугированием (10000 об. мин$^{-1}$, в течение 20 мин). Элюирование ГВ сорбировавшихся на матрице геля осуществляли путем постепенного ослабления их гидрофобных контактов с матрицей геля. Сначала 0.05 М ТРИС-HCl буфером при негативном градиенте концентрации сульфата аммония, а потом, при возрастающей концентрации додецилсульфата натрия (ДДС-Na) в буфере. Последнюю фракцию десорбировали раствором 5мМ ЭТДА+0.2 н. NaOH. Особенности используемого метода подробно описаны ранее (Милановский, 2009).

Относительное содержание фракций ГВ, определяли по площади каждой хроматографической фракции, выраженной в процентах от общей площади хроматографических пиков с помощью программы обработки хроматографических данных МультиХром (Амперсенд, Россия). Хроматографическое фракционирование позволяет разделить ГВ на 5 молекулярно-гомогенных фракций, которые в определенной доле встречаются во всех исследованных образцах. ГВ, входящие в первые две хроматографические фракций отнесены к гидрофильным. ГВ в составе третьей, четвертой и пятой хроматографической фракции – к гидрофобным. В работе (Милановский, 2009) показано, что гидрофильные фракции представлены низко обуглероженными, насыщенными азотом низкомолекулярными алифатическими соединениями. Третья и четвертая фракции представлены обуглероженными, высокомолекулярными восстановленными органическими соединениями ароматической природы. При этом в четвертой фракции преимущественно присутсвуют лигниноподобные соединения. Пятая фракция представлена ГВ связанными с железом и алюминием. Степень гидрофильности (Dh) определяли как отношение суммы площадей гидрофильных (1 и 2 фракций) к сумме площадей гидрофобных (3-5 фракций) компонентов ГВ.

2.3.4.2. Денсиметрическое фракционирование

Денсиметрическое фракционирование почв осуществляли раствором поливольфрамата натрия согласно методическим разработкам (Cerli et al., 2012; Grunewald et al. 2006). Фракцию свободного органического вещества ($СОВ_{<1.6}$) отделяли раствором с плотностью 1.60±0.03 г см$^{-3}$. Окклюдированное органическое вещество ($ООВ_{<1.6}$) отделяли раствором с этой же плотностью, после обработки УЗ,

при мощности 150 Дж см$^{-3}$ (Schmidt et al., 1999). Фракции, в которых ОВ преимущественно связанно с минеральной составляющей, разделяли на первую тяжелую фракцию – ТФ$_{1.6-2.2}$ (плотность от 1.6-2.2 г см$^{-3}$) и вторую – ТФ$_{>2.2}$ (плотность более 2.2±0.03 г см$^{-3}$). В некоторых случаях отделяли одну тяжелую фракцию (ТФ$_{>1.6}$) (плотность более 1.6±0.03 г см$^{-3}$). После добавления раствора поливольфрамата, заданной плотности, суспензии встряхивали в течение 10 минут на шейкере Heidolph и центрифугировали при 10000 об. мин.$^{-1}$ в течение 20 минут. После центрифугирования разделяли надосадочную жидкость и осадок. Полученные фракции отделяли от раствора поливольфрамата фильтрованием через кварцевые фильтры (Macherey-Nagel GF) с размером пор 0.4 мкм. Фракцию на фильтре промывали дистиллированной водой, переносили в фарфоровые чашки и выпаривали при температуре около 40ºС. Регенерацию поливольфрамата осуществляли согласно (Six et al., 1999) последовательным пропусканием через активированный уголь и катионнобменную смолу в H^+-форме.

2.3.4.3. Оценка краевого угла смачивания

Оценку краевого угла смачивания проводили на кафедре физики и мелиорации факультета почвоведения МГУ им. Ломоносова. Для измерения почвенного образца на предметные стекла для микроскопирования наклеивали двустороннюю липкую ленту, размером 1.5 на 1.0 см. На верхний клеевой слой ленты наносили перетертый и пропущенный через сито 0.25 мм образец почв или денсиметрических фракций, просушенный при температуре 40 °С в течение 3-х часов. Другим предметным стеклом почвенную массу придавливали с усилием около 100 г в течение нескольких секунд, затем аккуратно стряхивали не приклеившиеся частички и вновь прижимали почву предметным стеклом. Процедуру повторяли 1-2 раза, добиваясь полного равномерного заполнения поверхности. Непосредственно перед измерением, стекло с образцом прокаливали при 105 °С в течении 2 часов, остужали на воздухе и измеряли краевой угол. Определение краевого угла смачивания проводили методом статической посаженой капли (Static sessile drop) на гониометре Kruss DSA 100, оснащенным микровидеокамерой и программным обеспечением для анализа формы капли. Суть метода заключается в том, что из подающей иглы, расположенной над образцом, выдавливается капля определенного объема, затем игла движется вниз, приводя

каплю в соприкосновение с измеряемой поверхностью. Практически сразу игла убирается, а капля остается на образце, принимая форму, характерную для угла смачивания данного материала. Весь процесс снимается в микрорежиме видеокамерой. Программным обеспечением в полученной видеозаписи анализируют форму капли и определяют краевой угол между каплей и поверхностью, на которую она посажена. В случае почвенных образцов краевой угол определяли в момент ее «посадки» на поверхность, который определяли как первый четкий кадр видеоряда после отрыва капли от подающей иглы. Аппроксимацию формы капли проводили методом Лапласа-Юнга. Если это было невозможно, то проекцию капли в кадре аппроксимировали как окружность. Объем капли был 1.5 мкл, использовали дистиллированную дегазированную воду, расстояние, которое проходила игла для посадки капли на поверхность образца, составляло 0.8 мм.

2.3.4.4. ^{13}C–ЯМР спектроскопия почв и денсиметрических фракций

^{13}C-ЯМР воздушно сухих денсиметрических фракций, органогенных горизонтов и компонентов опада регистрировали на спектрометре JNM-ECA 400 (JEOL, Япония) с рабочей частотой 100.53 МГц с использованием твердофазной методики CP-MAS (кросс-поляризация с вращением под «магическим» углом) в ЦКП «Диагностика структуры и свойств наноматериалов» Кубанского Государственного Университета. Частота вращения образца 12 кГЦ, время контакта 5 мс, время релаксации 5 с, количество накоплений до 13000 сканов. Химические сдвиги представлены относительно тетраметилсилана со сдвигом 0 м.д., в качестве стандарта использовали пик адамантана. Предварительно образцы обрабатывали 10 % плавиковой кислотой для удаления парамагнитных примесей изотопов железа согласно (Skjemstad et al., 1994; Goncalves et al., 2003). Для количественной обработки применяли численное интегрирование по областям, соответствующим расположению функциональных групп и молекулярных фрагментов, с использованием программы Delta 5.0.4. (JEOL, Япония). Используемые интервалы интегрирования представлены в таблице 2.5. Содержания ароматических структур (AR) определяли по сумме площадей сигналов при 110-145 и 145-165 м.д., а алифатических составляющих (AL) по сумме 0-110, 165-185 и

185-220 м.д. согласно Hatcher et al. (1981). Степень разложения органического вещества оценивали согласно (Baldock, Preston, 1995; Ларионова и др., 2015) по соотношению алкил (0-45 м.д.) к О-алкил (45-110 м.д.). Степень ароматичности (fa) определяли как суммарное содержание ароматических компонентов ($C_{Ar-H,C}$ и $C_{Ar-O,N}$) (Федорова и др., 2003). Показатель гидрофобности (Hb) рассчитывали по сумме сигналов 0-45 и 110-145 м.д. по Лодыгину с соавт. (2014).

^{13}C-ЯМР спектры снимали в лесных подстилках участков (1-3УК; 1, 3ПР; 1-4L; 1-2ВМ), денсиметрических фракциях верхних минеральных горизонтов разрезов 1, 3-5L, почвы лесопогрузочной площадки (4Т), преобладающих компонентах древесного опада. Погрешность определения отдельных молекулярных фрагментов составляет около 10 % (Калябин и др., 2010).

Таблица 2.5. Химические сдвиги атомов ^{13}C молекулярных фрагментов

Химический сдвиг, м.д.	Тип молекулярных фрагментов	Обозначение	
0 – 45	C, H замещенные алифатические	$C_{Alk-H(R)}$	
45 – 60	метоксильные фрагменты	C_{CH3-O}	$\sum C_{Alk-O}$
60 – 95	O, N-замещенные алифатические фрагменты	C_{Alk-O}	
95 – 110	ди-O, N-алифатические фрагменты (дважды замещенные гетероатомами)	CO_{-Alk-O}	
110 – 145	C, H замещенные ароматические фрагменты	$C_{Ar-H(C)}$	C_{Ar}
145 – 165	O, N-замещенные (фенольные) ароматические фрагменты (O-арилы)	$C_{Ar-O,N}$	
165 – 185	Карбоксильные, амиды и их производные	$C_{COOH(R)}$	
185 – 220	Группы альдегидов и кетонов	$C_{C=O}$	

Интервалы и обозначения согласно: Mastrolonardo et al., 2015; Miesel et al., 2015; Гречищева, 2017.

2.3.4.5. Оценка содержания ПАУ и водорастворимых органических соединений

В основу определения ПАУ в почвах положены методики US EPA Method 8310 (US EPA, 1985), ПНД Ф 16.1:2:2.2:3.39-03 (2007). Экстрагирование осуществляли смесью гексан/ацетон (1/1) с ультразвуковой обработкой экстракционной системы на Branson 5510 (USA). Фракцию ПАУ очищали при

помощи колоночной хроматографии на силикагеле. Качественное и количественное определение содержания ПАУ в почвах и денсиметрических фракциях осуществляли методом обращеннофазовой высокоэффективной жидкостной хроматографии в градиентном режиме и спектрофлуориметрического детектирования на хроматографе «Люмахром» (Люмэкс, Россия). Определение ПАУ проводили в почвах пирогенных и соответствующим им условно-фоновым участках: 1L, 3-5L, 1-3BM, 1-4S, а так же в денсиметрических фракциях 1,3-5L.

Экстракцию водорастворимых веществ (ВВ) проводили деионизированной водой (ELGA Lab Water, Англия) при комнатной температуре (20-23 ºС) при соотношении 1:50 (почва:вода) для минеральных горизонтов и 1:100 для органогенных и пирогенных горизонтов в пробирках BIOFIL. Суспензии встряхивали в течение часа на шейкере Heidolph Multi Reax, (ускорении 6X) при комнатной температуре. Фильтрование проводили непосредственно после встряхивания на установках Millipore с использованием кварцевых фильтров (MN, Германия, с размером пор 0.4 мкм), в каждой пробе измеряли общий объем фильтрата. Общий (Свс), общий азот (Nвс) и неорганический углерод (Свнс) определяли на анализаторе TOC-VCPN (Япония, Shimadzu). Общий органический углерод (Свос) – рассчитывали по разнице Свс и Свнс. Полученные результаты пересчитывали на массу анализируемой пробы. Определение водорастворимых органических соединений проводили в постпирогенных почвах: 1-5L; 1-6BM; 1-2S; 1-4M; во всех постагрогенных почвах.

2.3.5. Мониторинговые наблюдения за температурами почв

Температуру почв измеряли с использованием регистраторов температуры HOBO U12-008 (США), интервал измерений – 3 часа. Использование температурных датчиков позволяет собрать ряды значений температуры с высокой точностью измерений и большой емкостью накапливаемых результатов, которые полезны при фиксации информации за длительный срок. Измерение проводили на трех глубинах: 3 см – гор. O(F), 20 см – гор. EL, 50 см – гор. BEL/BT. Температурные датчики устанавливали в межкроновых участках. Таблицы и графики построены в программе Microsoft Office Excel, термохроноизоплеты по среднемесячным значениям температуры построены в программе Surfer 9. Температуры почв определяли в 2008-2014 гг. на участках 1УК, 2УК, 3УК.

ГЛАВА III. ПОЧВЫ ЕСТЕСТВЕННО РАЗВИВАЮЩИХСЯ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ

В данном разделе рассмотрены свойства почв типичных экосистем, не подвергавшихся внешним воздействиям на протяжении как минимум нескольких десятилетий. Все рассматриваемые в данном разделе разрезы почв заложены на территориях испытывающих минимальное антропогенное воздействие, являющиеся своего рода эталонами почв девственных экосистем Республики Коми. В основу написания раздела положены свойства типичных лесных почв различных типов леса, выступающих в качестве условно-фоновых при рассмотрении влияния рубок, пожаров и вовлечения в сельскохозяйственное использование. В таблице 3.1 представлена наиболее общая соподчиненность типов почв и типов леса на примере подзон средней и северной тайги Республики Коми. Лесная растительность является одним из ведущих факторов образования и эволюции почв.

Таблица 3.1. Общая принадлежность типов почв к типам леса на территории европейского северо-востока России

Тип леса	Тип почв согласно (по: Полевому определителю …, 2008), шифр участка	Согласно WRB (IUSS, 2014)
Сосняк лишайниковый	Подзол иллювиально-железистый (1L)	Albic Podzol
Сосняк бруснично-зеленомошный	Подзол иллювиально-железистый (1BM, 1 AC(P))	
	Подзолы иллювиально-железистые на песках, подстилаемых суглинистыми отложениями (1ПР)	Glossic Abruptic Retisol
Сосняк сфагновый	Торфяно-подзолы иллювиально-гумусово-железистые (1M)	Histic Podzol
Ельник черничный	Подзолистые текстурно-дифференцированные (1УК, 1S, 1AC)	Glossic Stagnic Retisol (Siltic, Cutanic)
Ельник долгомошный	Торфяно-подзолисто-глеевые (1SM)	Histic Stagnic Retisol (Siltic, Cutanic)

3.1 Морфологические свойства

Почвы лесных ландшафтов имеют некоторые отличия по основным морфологическим и физико-химическим свойствам. Определяющим фактором являются почвообразующие породы, дренированность ландшафта и соответствующий тип растительности (Почвы европейского…, 1989; Почвы зоны…, 1983; Процессы…, 1991) На песчаных почвообразующих породах древнеаллювиального и водно-ледникового происхождения в автоморфных позициях рельефа формируются подзолы иллювиально-железистые и иллювиально-гумусовые, приуроченные к соснякам лишайниковым и бруснично-зеленомошным (Листов, 1986). Почвы естественных подзолов исследованы под сосняками лишайниковыми (1L) и сосняками бруснично-зеленомошными (1BM, 1 AC(P)). Подробные морфологические описания приведены в приложениях 1.1, 2.1, 3.1. Для подзолов иллювиально-железистых характерно типичное морфологическое строение: под лесной подстилкой (O) залегает мощный, наиболее светлый в профиле подзолистый горизонт (E). Под ним формируется иллювиально-железистый горизонт BF, плавно переходящий в горизонты почвообразующей породы (BC). Для сосняков бруснично-зеленомошных (1BM, 1AC(P)) характерны более мощные и дифференцированные подстилки, что вероятно определяется составом опада и растениями напочвенного покрова. Сосняки бруснично-зеленомошные формируются, в том числе на неоднородных почвообразующих отложениях (песках и супесях подстилаемых суглинистыми отложениями). В качестве примера приведено описание подзола иллювиально-железистого на песках, подстилаемых суглинистыми отложениями (1ПР). Верхняя часть профиля является типичной для иллювиально-железистых подзолов (O-E-BF), но с глубины 40-50 см наблюдается подстилание моренными суглинками, верхняя часть которых обычно облегчена (гор. BDe), нижние суглинистые горизонты часто текстурно-дифференцированны (BT).

В условиях слабодреннированных водораздельных территорий, под сосняками сфагновыми, формируются торфяно-подзолы (1M), характеризуются рядом отличий, от лесных почв автоморфных позиций. Для рассматриваемых почв

характерна большая мощность подстилки до 20 см, представленная очесом мхов (Оч.), ферментативным горизонтом O(F) с бурым слаборазложившимся материалом, O(H) с хорошо разложенным органическим веществом. Под подстилкой расположен мощный подзолистый горизонт (E), переходящий в иллювиально-гумусово-железистый горизонт (BHF), подстилаемые слабоизменными современным процессами почвообразующими породами.

Распространение типичных подзолистых текстурно-дифференцированных почв (1УК, 1S, 1AC) приурочено к малочисленным ненарушенным массивам ельников черничных, развивающихся на суглинистых почвообразующих породах в условиях хорошо дренированных ландшафтов (Чертовской, 1978). Для почв характерен типичный микрорельеф, выраженный вывалами, корнями, приствольными повышениями и обилием валежа разной стадии разложения. Для рассматриваемых почв характерна типичная лесная подстилка, дифференцируемая на три подгоризонта с различной степенью разложения органического вещества (O(L), O(F), O(H)). Под лесной подстилкой формируется элювиальный горизонт (EL), в некоторых случаях пропитанный в верхней части потечным органическим веществом (ELhi). Под ним расположен переходный субэлювиальный горизонт BEL, вмещающий языки элювиального горизонта (Albeluvic glossae). Под элювиальной толщей формируются хорошо выраженные текстурные горизонты BT (argic) с типичной многопорядковой структурой и обилием кутан на гранях структурных отдельностей.

В более гидроморфных условиях слабодренированных водораздельных пространств под ельниками долгомошными и чернично-сфагновыми формируются торфяно-подзолисто-глеевые почвы. Для них характерна мощная подстилка от 10 до 20 см, с хорошо элювиальным горизонтом (ELhi, g), как правило, пропитанным потечным гумусом, плавно переходящим в субэлювиальный горизонт BEL. В нижней части профиля формируется суглинистый, оглееный текстурный горизонт (BTg) с характерными кутанами на гранях структурных отдельностей. В почвах, развивающихся в северной и крайнесеверной таежных подзонах, четко выражены морозобойные трещины мощностью до нескольких см, прокрашенные потечным гумусом (проявляются до глубины 40 см).

3.2. Физико-химические свойства

Почвы условно-фоновых ландшафтов характеризуются типичными физико-химическими свойствами. Все рассматриваемые почвы кислые – наименьшими значениями pH характеризуются ферментативные горизонты подстилок. В минеральных горизонтах идет плавное уменьшение кислотности с глубиной. Наиболее высокие значения по степени насыщенности основаниями, содержанию обменных оснований, и углерода и азота выявлены для подстилочных горизонтов. Для подстилок характерно широкое отношение C:N, что свидетельствует о слабом разложении компонентов растительного опада. Характерно элювиально-иллювиальное профильное распределение углерода, оксалаторастворимых форм железа и алюминия, дитиониторастворимых форм железа.

Подзолы иллювиально-железистые являются одними из наиболее кислых почв, наибольшей кислотностью характеризуются нижняя часть подстилки и элювиальные горизонты. Кислотность обусловлена низкомолекулярными органическими кислотами, что подтверждается высокими значениями гидролитической кислотности. Наблюдается накопление дитионирастворимого железа в горизонтах BF. Иллювиирование окслаторастворимых форм железа и алюминия выражено в существенно меньшей степени. Обменные катионы аккумулированы в подстилке, в минеральных горизонтах их содержание низкое, при некотором увеличении в иллювиальных горизонтах. Почвы ненасыщенны основаниями. Наблюдается обеднение подзолистого горизонта соединениями железа и алюминия и их накопление в иллювиальном горизонте. Содержание углерода максимально в подстилочных горизонтах. Почвенное органическое вещество характеризуется очень низкой обогащенностью азотом. В минеральных горизонтах содержание углерода и азота очень низкое и практически не различается между генетическими горизонтами.

Подзолистые текстурно-дифференцированные почвы являются сильнокислыми, максимальная кислотность водной вытяжки характерна для нижних подгоризонтов лесной подстилки O(L) и верхней части элювиального горизонта (EL) 4.3-4.6 единиц pH. В нижних текстурных горизонтах значения приближаются к нейтральным. Почвенный поглощающий комплекс ненасыщен

основаниями. Максимальное количество обменных форм кальция и магния характерно для подгоризонтов свежего опада. Верхние элювиальные горизонты характеризуются минимальным содержанием кальция и магния, в них степень насыщенности основаниями не превышает 9-14 %. В текстурных горизонтах происходит плавное возрастание содержания кальция и магния, а так же степени насыщенности основаниями. Содержание дитиониторастворимого железа максимально в текстурных горизонтах, элювиальные горизонты обеднены дитиониторастворимым формами железа, но при этом в нижней части элювиального горизонта (EL) наблюдается иллювиальное накопление. Горизонты естественной почвы не дифференцированы по содержанию оксалаторастворимых форм железа и алюминия.

Для всех рассматриваемых почв характерно возрастание плотности сложения с глубиной (табл. 3.2). Плотность подстилок изменяется от 0.04 до 0.2 г $см^{-3}$. Плотность минеральных горизонтов почв развивающихся на песчаных отложениях ниже по сравнению с почвами, развивающимися на суглинистых почвообразующих породах. Верхние минеральные элювиальные горизонты почвы условно-фонового участка облегчены по сравнению с текстурными горизонтами. Наблюдается существенный вынос ила в текстурные горизонты – коэффициент дифференциации по илу 2.3. Для почв сосняков бруснично-зеленомошных (1ВМ), является диагностируемое утяжеление механического состава почвообразующих пород. Линзы и прослойки суглинистого материала появляются с глубины 25-60 см, но при этом не образуют однородного генетического слоя или почвенного горизонта. Вероятно, такие отложения являются промежуточными между легкими (песчаными, супесчаными) и двучленными (песками и супесями, подстилаемыми суглинками) отложениями, что в значительной степени определяется высотой местности и особенностями формирования отложений в четвертичный период. Гранулометрический состав почвообразующих пород обусловливает специфический водный режим, способствующий удерживанию влаги в почвенном профиле летом и несколько большее плодородие почв по сравнению с однородными песчаными отложениями. Но при этом, рассматриваемые отложения сохраняют своеобразный пирогенный режим, характерный для устойчивого функционирования сосновых фитоценозов высокого бонитета.

3.3. Органическое вещество почв

Наиболее высокие концентрации углерода и азота характерны для подстилок. Содержание углерода в них изменяется от 32 до 45, содержание азота от 0.69 до 1.9 %. Профильное распределение углерода носит плавно убывающий характер. Во всех рассматриваемых почвах с промывным водным режимом элювиальные горизонты содержат больше органического углерода по сравнению с иллювиальными. Верхние минеральные горизонты подзолистых почв содержат большее количество органического углерода (от 1.0 до 3.2 %). В почвах на песчаных отложениях под сосняками концентрации углерода составляют 0.12-0.80 %. Для большинства исследуемых почв выявлено плавно убывающее профильное распределение углерода. В нижних минеральных горизонтах содержание углерода крайне низкое.

Запасы углерода и азота, сосредоточенные в лесных почвах, определяются гидрологическим фактором. Запасы элементов в рассматриваемых почвах изменяются от 2.9 до 12.1 кг $м^{-2}$ углерода, и от 0.1 до 0.7 азота кг $м^{-2}$. Наименьшими запасами характеризовались иллювиально-железистые подзолы: запасы углерода составляют 2.9 до 3.4 кг $м^{-2}$. В автоморфных почвах, развивающихся на двучленных отложениях, запасы углерода составляют 8.6 кг $м^{-2}$. В подзолистых почвах – 9.2, в торфяно-подзолисто-глеевых – 12.1 кг углерода $м^{-2}$. При этом существенно изменяется и вклад органогенных горизонтов в общие запасы, от 17 – в подзолах, до 69 % – в торфяно-подзолисто–глеевых (табл. 3.2).

Таблица 3.2. Запасы углерода в почвах естественных фитоценозов

Почва	Горизонт	Глубина, см	Мощность, см	Объемный вес, г см$^{-3}$	C	N	Запасы, кг м$^{-2}$	
					%		C	N
1L	O(L)	0-1	1	0.04	32 .8	0 .87	0.13	0.004
	O(F+H)	1-3	2	0.04	43 .7	0 .69	0.36	0.006
	E	3-13	10	1.46	0.87	0.02	1.27	0.029
	BF	13-45	32	1.36	0.12	0.008	0.52	0.035
	BC	45-65	20	1.63	0.05	0.004	0.16	0.013
	C	65-110	35	1.63	0.08	0.004	0.46	0.023
	Запасы в 1 м/вклад подстилки, %						2.90 / 17	0.11/8
1BM	O(L)	0-3	3	0.08	43.5	0.85	1.02	0.02
	O(F+H)	3-5	2	0.08	44.8	1.12	0.70	0.02
	E	5-25	20	1.39	0.146	0.0102	0.40	0.03
	BF	25-60	35	1.53	0.133	0.0172	0.71	0.09
	BC	60-80	20	1.70	0.056	0.005	0.19	0.02
	C	80-110	20	1.70	0.109	0.0103	0.37	0.03
	Запасы в 1 м/вклад подстилки, %						3.39 / 51	0.21 / 17
1ПР	O(L)	0-3	3	0.15	41.09	1.2	1.85	0.05
	O(F)	3-8	5	0.15	42.76	0.99	3.21	0.07
	O(H)	8-9	1	0.15	38.65	0.53	0.58	0.01
	Eg	10-23	13	1.53	0.379	0.024	0.75	0.05
	BFg	23-43	20	1.68	0.231	0.04	0.78	0.13
	Deg	43-52	9	1.69	0.223	0.025	0.34	0.04
	D1g	52-88	36	1.68	0.136	0.022	0.82	0.13
	D2g	88-100	12	1.71	0.111	0.021	0.23	0.04
	Запасы в 1 м/вклад подстилки, %						8.56 / 66	0.53 / 26
1AC	O(L)	0-2	2	0.20	42.3	1.8	1.70	0.07
	O(F)	2-5	3	0.20	41.2	1.9	2.48	0.11
	O(H)	5-8	3	0.20	31.9	1.14	1.92	0.07
	ELhi	8-15	7	1.30	1.09	0.069	0.99	0.06
	ELg1	15-30	15	1.63	0.26	0.024	0.64	0.06
	ELg2	30-45	15	1.63	0.12	0.015	0.29	0.04
	BEL	45-60	15	1.70	0.14	0.024	0.36	0.06
	BT1	60-80	20	1.65	0.13	0.022	0.43	0.07
	BT2	80-100	20	1.77	0.11	0.021	0.39	0.07
	Запасы в 1 м/вклад подстилки, %						9.2 / 66	0.62 / 41
1ПБ (51-10)	Оч.	0-2	2	0.15	43.2	1.22	1.30	0.04
	O(F)	2-7	5	0.15	45.2	1.25	3.39	0.09
	O(H)	7-13	6	0.15	40.2	1.56	3.62	0.14
	ELhi, g	13-30	17	1.45	0.42	0.032	1.04	0.08
	BELg	30-45	15	1.74	0.51	0.037	1.33	0.10
	BT	45-60	15	1.74	0.15	0.028	0.39	0.07
	BT2	60-100	40	1.74	0.15	0.028	1.04	0.19
	Запасы в 1 м / вклад подстилки, %						12.1 / 69	0.71 / 38

Изучение содержания молекулярно-гомогенных фракций щелочерастворимого органического вещества (табл. 3.3) позволило выявить сходства и различия состава органических соединений в исследуемых почвах. Высокие содержания гидрофильных фракций выявлены в подстилках, формирующихся в лесах с преобладанием мхов и кустарничков. Более высокие концентрации гидрофильных фракций согласуются с увеличением содержания водорастворимых соединений, и продуцированием полярных органических соединений (Hilli et al., 2010). В целом, органическое вещество исследуемых почв характеризуется близким соотношением отдельных фракций. Наиболее высокая степень гидрофильности приурочена к нижним подгоризонтам подстилок (гор. O(H) и O(F+H)).

Значительную роль в содержании и профильном распределении молекулярно гомогенных фракций играет механический состав почвообразующих пород. В минеральных горизонтах происходит возрастание содержания доли пятой фракции, связанной с железом и алюминием, по сравнению с органогенными горизонтами. В большинстве исследуемых почв условно-фоновых ландшафтов наиболее высокая доля этой фракции выявлена в иллювиальных горизонтах. Концентрация соединений представляющих рассматриваемую фракцию определяется возможностью закрепления органических соединений на минеральной матрице. Основные отличия содержания данной фракции в минеральных горизонтах исследуемых почв заключаются в специфике почвообразующих пород. В минеральных горизонтах почв, формирующихся на песчаных и супесчаных отложениях, концентрация данной фракции ниже, по сравнению с почвами, формирующимися на суглинистых отложениях. В почвенных горизонтах, характеризуемых высоким содержанием конкреционных новообразований, содержание пятой фракции существенно возрастает. Таким образом, содержание пятой фракции в значительной степени определяется, доступностью способных к связыванию ионов железа и алюминия.

О концентрациях отдельных фракций и их профильном распределении можно судить по значениям оптических плотностей в точке максимума хроматографических пиков. Профильное распределение значений оптических плотностей наиболее гидрофильных фракций в значительной степени отражает особенности распределения общего углерода. Содержания гидрофобных фракций биополимеров растительного

Таблица 3.3. Относительное содержание хроматографических фракций и степень гидрофильности (Dh)

Разрез	Гори-зонт	Глуби-на, см	Сщ., %	Номер хроматографической фракции					Dh
				1	2	3	4	5	
1L	O(L)	0-1	6.2	37.3	13.1	15.2	35.5	1.7	1.0
	O(F+H)	1-3	7.5	44.5	14.2	9.5	30.5	1.1	1.4
	E	3-13	0.16	39.1	–	–	42.9	17.9	0.6
	BF	13-45	0.04	17.1	–	–	–	82.9	0.2
1BM	O(L)	0-3	6.1	49.5	9.7	13.7	25.0	2.1	1.5
	O(F+H)	3-5	8.1	34.5	16.0	22.6	25.5	1.2	1.0
	E	5-25	0.05	82.2	–	–	15.4	2.4	4.6
	BF	25-60	0.04	15.3	–	–	6.9	77.8	0.2
1ПР	O(L)	0-2	4.4	58.5	12.3	12.2	15.9	1.1	2.4
	O(F+H)	2-5(7)	6.1	47.4	15.8	15.1	20.7	0.8	1.7
	Eg	7-13	0.11	70.6	–	0.9	11.6	16.8	2.4
	EBfg	13-29	0.05	46.5	–	2.1	4.8	46.7	0.9
1УК	O(L)	0-3	6.6	35.6	16.5	18.2	28.1	1.5	1.1
	O(F)	3-6	7.4	31.8	18.4	19.6	28.9	1.3	1.0
	O(H)	6-8	6.7	44.0	25.8	20.0	1.4	8.9	2.3
	ELe	8-11	0.45	15.8	4.7	0.8	–	78.7	0.3
	ELhi	11-14	1.02	14.9	2.6	0.8	–	81.7	0.2
1S	O(L)	0-1	9.2	36.6	6.5	17.5	30.4	8.9	0.8
	O(F)	1-4	10.7	28.0	14.0	24.3	32.5	1.1	0.7
	O(H)	4-5	9.14	27.7	13.9	24.8	32.5	1.1	0.7
	EL	5-10	0.26	49.6	25.3	6.5	16.8	1.9	3.0
	ELf	10-15	0.49	44.1	21.0	21.2	12.9	0.9	1.9

Прочерк – не обнаружено.

происхождения (3-4 фракций) максимально в органогенных горизонтах, в минеральных горизонтах их концентрации существенно уменьшаются. Ранее (Дымов, Низовцев, 2015) было показано, что по содержанию наиболее гидрофильных соединений первой фракции в органогенных горизонтах почв можно выстроить убывающий ряд: парцелла сосны (бруснично-зеленомошная)> парцелла ели> парцелла пихты=парцелла межкронового пространства>парцелла лиственницы=парцелла сосны (лишайниковая). Таким образом, свойства органического вещества определяются принадлежностью к отдельным парцеллам, особенностями опада и составом подстилок. При этом можно предположить, что ведущая роль заключается в растениях напочвенного покрова, а не отдельными деревьями. Это особенно четко видно при сравнении результатов почв сосняков 1L и 1ПР, которые значительно различаются по содержанию гидрофильных компонентов в подстилках.

Для оценки свойств потенциальных источников было проведено фракционирование органического вещества, извлекаемого из преобладающих компонентов древесного опада (табл. 3.4). Выявлено, что компоненты растительного опада, имеют ряд различий по содержанию молекулярно гомогенных фракций в составе щелочерастримого органического вещества. Содержание отдельных фракций показало, что концентрация наиболее гидрофильных фракций органических соединений связана с составом опада. Наиболее высока концентрация гидрофильных соединений в валежине>хвоя ели>хвоя сосны> листья осины>кора сосны. Содержание наиболее гидрофобной фракции максимально в коре сосны и разлагающейся древесине, в остальных исследуемых компонентах опада содержание этой фракции низкое. Состав высокомолекулярных гидрофобных соединений различных компонентов опада, так же различается. Наибольшие концентрации выявлены для разлагающейся древесины, коры и хвои сосны (эти компоненты наиболее богаты лигнинами). Наименьшее количество гидрофобных щелочеэкстрагируемых полимеров третьей и четвертой фракций характерно для листьев осины и березы. Минимальная степень гидрофильности выявлена в коре сосны и разлагающейся валежине.

При анализе содержания углерода и азота водорастворимых органических соединений выявлено, что максимальные абсолютные содержания водорастворимых органических соединений характерны для подгоризонтов подстилок. При этом содержание Свс в подстилках близкое и изменяется в пределах от 3.6 до 19.3 мг $г^{-1}$. В большинстве исследуемых почв максимальные концентрации характерны для подгоризонтов свежего опада. Различия наблюдаются при сравнении верхних подгоризонтов подстилок, представленных свежим опадом и частями растений напочвенного покрова.

Таблица 3.4. Значения оптических плотностей A_{280} хроматографических фракций щелочерастворимого органического вещества

Компонент опада	номер хроматографической фракции				
	1	2	3	4	5
хвоя сосны	1.55	0.25	0.30	0.64	0.04
хвоя ели	1.88	0.29	0.28	0.48	0.07
лист осины	0.94	0.14	0.09	0.27	0.02
лист березы	1.50	0.19	0.11	0.34	0.03
кора сосны	0.72	0.19	0.15	0.65	0.24
валежина (5 ст. разложения)	2.12	0.80	1.60	3.14	0.17

Минимальные концентрации характерны для верхнего подгоризонта сосняка лишайникового, максимальные для подстилки сосняка сфагнового, что в целом совпадает с результатами полученными Токаревой и Прокушкиным (2012) для различных растений напочвенного покрова. Основу общего водорастворимого углерода составляют органические соединения (более 99 %). Относительное содержание водорастворимого углерода в подстилках изменяется от 1.1 до 4.5 %. Но при этом, подгоризонты подстилок различаются по содержанию: во всех почвах, за исключением подзолов, формирующихся под сосняками лишайниковыми, наибольшие концентрации характерны для подгоризонта O(L) или подгоризонта очеса. Максимум содержания водорастворимого углерода на участке 1L выявлен в нижней части подстилки. Для почв с морфологически выраженными подгоризонтами ферментации и гумификации, для горизонта O(F) характерны более высокие значения Свс по сравнению с горизонтом O(H). Во всех исследуемых почвах содержание Свс в минеральных горизонтах ниже, чем в органогенных – содержание углерода Свс в верхних минеральных горизонтах на порядок меньше чем в подстилках. При этом, для большинства почв условно-фоновых ландшафтов, содержание углерода в элювиальных горизонтах выше, чем в иллювиальных. Максимальной концентрацией характеризуется элювиальный горизонт подзолистой почвы под ельником, для всех остальных почв характерно существенно меньшее содержание 0.1-0.14 мг $г^{-1}$. Относительное содержание (относительно общего углерода) в целом повторяют профильное распределение общего углерода. Но при этом, имеет достаточно широкий разброс – от 1.1 в подзолах иллювиально-железистых до 5.3 в элювиальном горизонте подзолистой почвы с морфологически выраженной потечностью гумуса.

Таким образом, проведенные исследования позволили выявить, что содержание водорастворимых форм углерода в почвах хвойных лесов в значительной степени определяется типом леса, особенностями растений напочвенного покрова, морфологическими особенностями подстилок и гранулометрическим составом. Для исследуемых почв условно-фоновых ландшафтов наблюдается возрастание Свс в верхнем подгоризонте подстилки рассматриваемые лесные почвы можно выстроить в ряд от подзолов иллювиально-железистых под сосняками лишайниковыми до торфяно-подзолов под сосняками сфагновыми.

Для исследуемых почв условно-фоновых ландшафтов наблюдается возрастание содержания Свс с увеличением гидроморфизма почв. По содержанию углерода водорастворимых соединений в верхнем подгоризонте подстилки, рассматриваемые лесные почвы можно выстроить в ряд: сосняки лишайниковые < ельники чернично-зеленомошные < сосняки бруснично-зеленомошные < сосняки сфагновые (табл. 3.5).

Таблица 3.5. Относительное содержание углерода и азота водорастворимых органических соединений

Участок	Горизонт	Глубина, см	Свс	Свнс	Свос	Nвс
			мг г$^{-1}$			
1L	O(L)	0-1	5.4±1.1 / 1.65	–	5.4±1.1	–
	O(F+H)	1-3	9.3±1.8 / 2.12	–	9.2±1.8	–
	E	3-13	0.10±0.02 / 1.14	–	0.10±0.02	–
	BF	13-45	0.010±0.002 / 0.83	–	0.010±0.002	–
1BM	O(L)	0-3	15±3 / 3.45	–	15±3	0.34±0.03 / 4
	O(F+H)	3-5	7.5±1.5 / 1.68	–	7.5±1.5	0.182±0.019 / 1.6
	E	5-25	0.08±0.16 / 5.33	–	0.08±0.16	0.004±0.0004 / 4
	BF	25-60	0.030±0.006 / 2.31	–	0.03±0.006	–
1AC(P)	O(L)	0-3	16.39±3.3 / 3.4	0.014	16.38±3.3	0.567± 0.11 / 4.7
	O(F)	3-7	7.55± 1.5 / 1.5	0.011	7.54±1.5	0.340±0.07 / 2.6
	O(H)	7-9	5.19±1.0 / 1.2	0.005	5.19±1.0	0.247±0.05 / 2.1
	E	9-20(35)	0.08±0.016 / 5.3	0.004	0.08±0.016	0.004±0.008 / 1.3
	BF	20(35)-80	0.10±0.02 / 2.3	0.004	0.10±0.02	0.004±0.008 / 1.3
	BC	80-120	0.05±0.01 / 3.3	0.003	0.05±0.01	0.002±0.0004 / 0.7
	C	80-120	0.02±0.004 / 1.3	0.004	0.01±0.002	0.001±0.002 / 0.3
1M	Оч.	0-17	19±4 / 4.51	–	19±4	1.0±0.1 / 9.0
	O(F)	17-20	9.8±2.0 / 2.01	–	9.7±1.9	0.26±0.03 / 2.7
	O(H)	20-30	4.4±0.9 / 1.33	–	4.4±0.9	0.19±0.02 / 2.7
	E	30-45	0.140±0.028 / 3.41	–	0.13±0.03	–
	BFn	45-60(70)	0.29±0.06 / 2.23	–	0.28±0.06	–
	BC	60(70)-80	0.06±0.01 / 4.0	–	0.06±0.012	–
1S	O(L)	0-1	9.1±1.8 / 2.20	0.70	8.4±1.7	0.40±0.04 / 3.3
	O(F)	1-4	5.2±1.0 / 1.14	0.64	4.6±0.9	0.35±0.04 / 2.2

	O(H)	4-5	5.0±1.0 1.17	0.53	4.5±0.9	0.22±0.02 1.5
	EL	5-10	0.58±0.12 5.47	0.022	0.56±0.11	0.011±0.001 1.6
	BF	10-15	0.14±0.03 0.98	0.020	0.13±0.03	0.012±0.001 3.0
	BEL	15-25	0.05±0.01 0.60	0.011	0.043±0.008	–
	BT1	25-55	0.06±0.01 2.0	0.010	0.042±0.008	–
	BT2	55-80	0.040±0.008 2.0	–	0.031±0.006	–
1AC	O(L)	0-1	13.79±2.8 3.3	0.066	13.72±2.7	0.825±0.1 4.60
	O(F)	2-5	6.41±1.3 1.6	0.008	6.40±1.3	0.475±0.06 2.50
	O(H)	5-8	5.78±1.2 1.8	0.025	5.75±1.15	0.258±0.03 2.26
	ELhi	8-15	0.36± 0.07 3.3	-	0.36±0.07	0.011±0.001 1.59
	EL1g	15-30	0.08±0.016 3.1	0.005	0.08±0.016	0.003±0.0003 1.25
	EL2g	30-45	0.05±0.01 4.2	0.002	0.05±0.01	0.002±0.00024 1.33
	BEL	45-60	0.05± 0.01 3.6	0.002	0.05±0.01	0.004±0.0005 1.67
	BT1	60-80	0.03±0.006 2.3	0.005	0.03±0.006	0.002±0.00024 0.91
	BT2	80-100	0.03±0.006 2.7	0.003	0.03±0.006	0.003±0.00036 1.43
1-1AC	O(L)	0-2	7.0±1.4 2.5	0.009	6.98±1.4	0.433±0.05 3.6
	O(F)	2-4	6.6±1.3 1.9	0.009	6.61±1.3	0.344±0.04 2.5
	O(H)	4-5	4.4±0.9 1.6	0.008	4.44±0.9	0.230±0.03 2.3
	EL	5-20	0.53±0.11 5.5	0.001	0.40±0.08	0.014±0.0011 2.0
	EL	20-30	0.27±0.05 9.3	0.002	0.27±0.054	0.009±0.00024 3.0
	BEL	30-40	0.07±0.014 2.8	0.001	0.07±0.014	0.002±0.00024 0.7
	BT1	40-70	0.05±0.01 2.5	0.003	0.06±0.012	0.002±0.00024 0.7
	BT2	70-100	0.04±0.008 2.7	0.005	0.03±0.006	0.002±0.00024 0.7
	C	100-140	0.02±0.004 1.4	0.003	0.03±0.006	0.002±0.00024 0.7

Методом ^{13}C-ЯМР спектроскопии изучены структурно-функциональные свойства почвенного органического вещества органогенных горизонтов ненарушенных сосняков лишайниковых, сосняков бруснично-зеленомошных (два участка, один составом древостоя 10С, второй 8С2Б), ельника черничные (табл. 3.6). Показано, что почвы естественных типов леса имеют некоторые различия по составу структурно-функциональных групп и интегральынх показателей в составе ПОВ (рис. 3.1). В

составе ПОВ верхних подгоризонтов лесных подстилок более половины приходится на углерод целлюлозы и алифатические фрагменты. Но при этом, содержание алифатических фрагментов изменяется в достаточно широких пределах 17-38, целлюлозы – 15-66 %. Доли углерода метоксильных групп и гемилллюлозы не велики и составляют 1-9 и 5-13 % соответственно. Содержание карбоксильных групп не превышает 5 %. Нижние подгоризонты подстилок почв коренных и условно-коренных типов леса содержат 16-46 % алифатических фрагментов, 12-66 % О-алкильных фрагментов, 3-10 % метоксильных фрагментов. Содержание углерода гемицеллюлоз составляет 4-12 %. Содержание фенольных и карбоксильных групп не превышает 5-6 %, так, в сосняке бруснично-зеленомошном, с примесью в составе древесины березы выявлено возрастание доли фенольных и ароматических структур. В подгоризонтах опада с преобладанием зеленых мхов и лишайников характерна высокая доля О-алкильного углерода. Существенно различается и профильный состав органического вещества подстилок от верхнего к нижним подгоризонтам. В сосняке лишайниковом наблюдается возрастание доли О-алкильного углерода и уменьшение алкильного углерода. Состав ПОВ ферментативного и гумификационного подгоризонтов подстилок ельника чернично-зеленомошного является достаточно близким. В сосняках бруснично-зеленомошных наблюдается возрастание углерода алкильных соединений, уменьшение доли целлюлозы. При этом в сосняке с примесью березы в составе структурно-функциональных свойств выявлено увеличение ароматических соединений и уменьшение фенольных. В подстилках чистого сосняка (1ВМ) в нижнем подгоризонте подстилки возрастает доля лигнина.

Таблица 3.6. Содержание молекулярных фрагментов и интегральные показатели состава органического вещества лесных подстилок, % (по данным ^{13}C-ЯМР спектроскопии)

Образец	Распределение углерода, %								*fa*	алкил/ О-алкил	Hb	AR/AL
	C_{Alk-H}	C_{CH3-O}	C_{Alk-O}	$C_{O-Alk-O}$	$C_{Ar-H(C)}$	$C_{Ar-O,N}$	$C_{COOH(R)}$	$C_{C=0}$				
Сосняк лишайниковый (1L)												
O(L)	37.9	7.5	40.5	7.3	2.8	1.6	2.3	0.1	4.4	0.7	40.7	0.046
O(F+H)	16.6	2.7	66.2	12.4	0.0	0.1	2.0	0.0	0.1	0.2	16.6	0.001
Ельник чернично-зеленомошный (1УК)												
O(F)	31.8	8.6	48.1	7.0	0.4	0.2	3.9	0.0	0.6	0.5	32.2	0.006
O(H)	30.0	7.3	45.5	8.4	3.5	0.7	4.6	0.0	4.2	0.5	33.5	0.044
Сосняк бруснично-зеленомошный (1ВМ)												
Оч.	17.5	1.0	66.4	12.8	0.0	0.0	2.2	0.1	0	0.2	17.5	0.000
O(F+H)	46.5	9.8	35.1	5.7	2.3	0.1	0.5	0.0	2.4	0.9	48.8	0.025
Сосняк бруснично-зеленомошный (1ПР)												
O(F)	36.5	7.0	15.1	4.7	15.5	15.5	5.3	0.5	31.0	1.4	52.0	0.449
O(H)	45.7	5.3	12.1	4.0	21.3	5.5	5.8	0.3	26.8	2.1	67.0	0.366

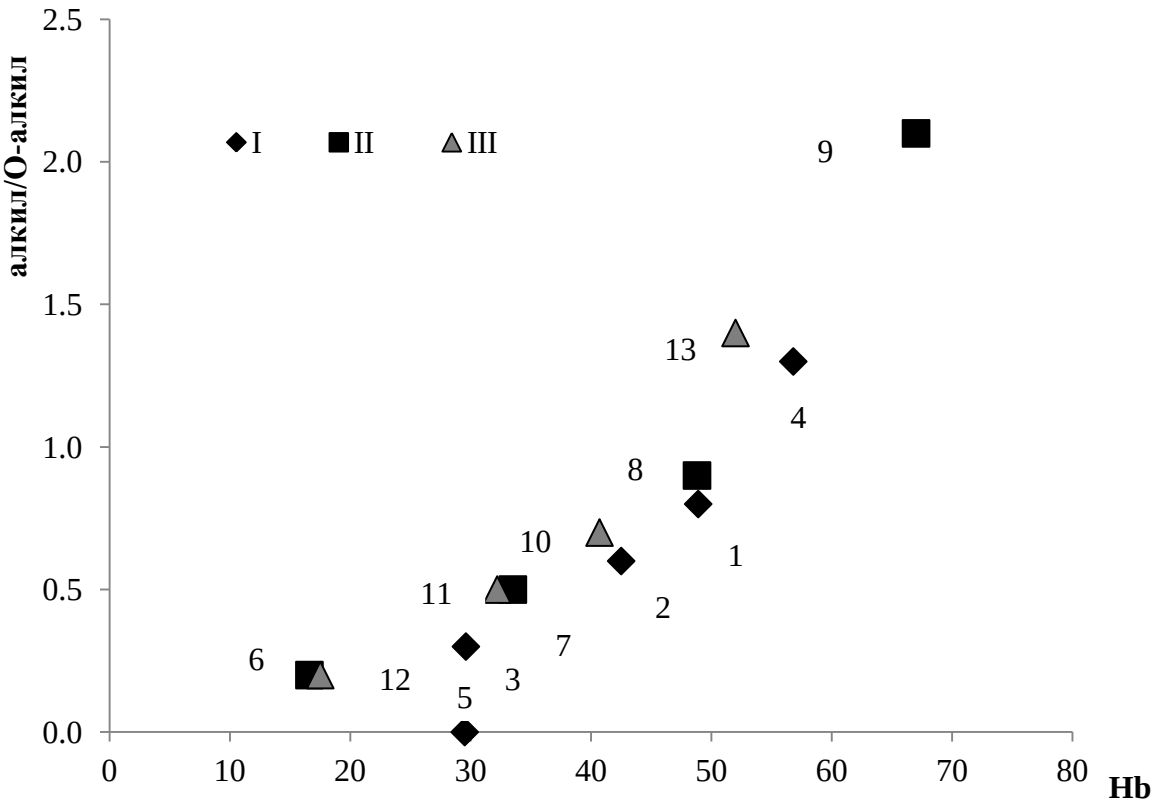


Рисунок 3.1. Диаграммы интегральных показателей молекулярных фрагментов углерода компонентов опада (I): 1 – лист березы, 2 –хвоя ели, 3 – хвоя сосны, 4 –хвоя пихты, 5 – валеж; нижние подгоризонты подстилок (II): 6 – 1L; 7 – 1УК; 8 – 1ВМ; 9 – 1ПР); верхние подгоризонты подстилок (III): 10 – 1L; 11 – 1УК; 12 – 1ВМ; 13 – 1ПР.

Изучение морфологических и физико-химических свойств исследуемых почв показало, что их свойства в значительной степени определяются принадлежностью к отдельным ландшафтам, растениям напочвенного покрова, основным эдификатором сообществ. Органическое вещество естественных почв характеризуется близкими закономерностями распределения молекулярно-гомогенных фракций в верхних генетических горизонтах. Основную долю ОВ составляют гидрофильные фракции ГВ, отличающиеся высокой миграционной и реакционной способностью. Отличия в почвах, развитых на суглинистых и песчаных отложениях, заключаются в меньшем абсолютном содержании амфифильных фракции ГВ в песчаных минеральных горизонтах по сравнению с почвами развивающимися на суглинистых отложениями, что определяется общим содержанием ОВ. При близких профильных закономерностях, различия выявлены в соотношении отдельных фракций и их закрепления на минеральной матрице почв. Показано, что основное количество миграционноспособных органических соединений сосредоточено в органогенных

горизонтов. Профильное распределение фракций в верхних минеральных горизонтах определяется гранулометрическим составом почвообразующих пород, и в целом повторяет особенности распределения общего углерода. Выявлено, что органогенные горизонты исследуемых почв различаются по содержанию гидрофильных фракций. Наибольшее содержание выявлено почвах, характеризуемых доминированием в напочвенном покрове зеленых мхов и кустарничков. Минимальные концентрации выявлены в парцелле сосняка лишайникового. Показано, что компоненты растительного опада, являющиеся прекурсорами почвенного органического вещества, при этом компоненты опада существенно различаются по содержанию отдельных фракций. Наибольшие концентрации гидрофильных органических соединений сосредоточено в разлагающейся древесине.

ГЛАВА IV. ПОЧВЫ ВЫРУБОК И ВТОРИЧНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ

Проведение рубок главного пользования приводит к существенному изменению лесного покрова и лесных почв. Активное лесопользование на территории таежных регионов наблюдалось с момента их заселения человеком, но при этом наибольшие изменения таежных экосистем отмечены во второй половине XX века, когда стали использовать для заготовки, трелевки и вывозки древесины тяжелую агрегатную технику. В значительной степени для почв таежных лесов лесозаготовительные мероприятия являются первым этапом техногенеза, выводящих почвы естественно развивающихся экосистем в антропогенные (Richter, Yaalon, 2012). На территории Республики Коми за 60 лет промышленных рубок рубками затронуто 112 тыс. км^2 и заготовлено 1 млрд. м^3 древесины (Атлас..., 2011).

4.1. Структура территорий вырубок

Наибольшие площади лесных почв подвержены сплошнолесосечным и сплошным рубкам (Леса…, 1999; Лесное хозяйство…, 2012). Технологически, при таких типах рубок (вне зависимости от типа трелевки древесины), 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 волока (или технологические коридоры) и лесопогрузочные площадки. При этом, площадь пасечных участков составляет от 59 до 71, трелевочных волоков от 18 до 29, погрузочных площадок от 6 до 15 % общей площади лесосек (Паутов, Ильчуков, 2001). В некоторых случаях нарушение поверхности почв происходит на 40-60 % лесосек (Иванов, 2005). При искусственном возобновлении происходит еще более значительные нарушения (Тощева, 1988), на долю ненарушенных почв приходится около 10 %. При естественном возобновлении леса пасечные участки не испытывают прямого воздействия тяжелой агрегатной техники. Почвы трелевочных волоков и лесопогрузочных площадок подвергаются наибольшим нарушениям при многократных проходах тяжелой агрегатной техники, перемешиванию подстилок, порубочных остатков, минеральных горизонтов почв (Соколов, 2006). Степень нарушений и глубина турбаций в существенной степени определяются изначальными ландшафтными характеристиками (типом леса, типом почв, спецификой почвообразующих пород) и сезоном года, технологией

лесозаготовительных работ. При этом в регионах с крупными предприятиями по переработке древесины, наблюдается существенный дефицит древесины, увеличивается доля летних заготовок, и как следствие, более значительные нарушения почв и почвенного покрова. Изменение почв и последующее возобновление растительности на различных технологических элементах вырубок будут иметь свои особенности. Так, например, в зависимости от степени нарушения почв, рост молодняка древесных пород на волоках и лесопогрузочных площадках отстает от роста в контроле в 2-6 раз (Засухин и др., 1996). Породный состав на технологических элементах лесосеки существенно различается (Сплошные…, 2013). Отмечено, что около 10 % лесосек на территории Карелии остается необлесенными (Соколов, 2006). В предыдущие 15 лет происходит изменение технологий лесозаготовительных работ. Хлыстовая трелевка древесины, постепенно замещается скандинавской технологией, включающей использование многооперационных машин (пара форвардер и харвестер) с сортиментной заготовкой древесины. Значительное число крупных лесозаготовительных предприятий ведут заготовку древесины многофункциональными комплексами. В Республике Коми (РК) соотношение заготовки по скандинавской и по традиционной (трелевочный трактор и бензопила) технологиям составило 90 и 10 %, соответственно (Путеводитель…, 2015). Согласно существующим требованиям к организации и проведению работ по заготовке древесины (Приказ…, 2011), доля волоков и лесопогрузочных площадок при использовании многооперационной техники может составлять до 30 % общей площади лесосеки. По нашим предварительным оценкам, площади механически нарушенных почв редко превышают 20 % площади лесосеки (Шумилов и др., 2016). Но при этом, в отличие от скандинавских стран, и регионов Российской Федерации с близкими лесорастительными условиями (Медведева и др., 2015; Eliasson, 2005), влияние использования рассматриваемой технологии на почвы на территории России практически не изучено. Вероятно, значительные различия по сравнению с европейскими странами (Cambi et al., 2015; Goutal et al., 2013) будут определяться особенностями несущей способности почв, а именно гранулометрическим составом, увлажнением, и, что более характерно для регионов Сибири наличием многолетнемерзлых льдистых пород. Дальнейшие изменения свойств почв в значительной степени определяются характером возобновления растительности на вырубках и проводимыми лесохозяйственными мероприятиями. Применяемые

подходы в лесовозобновлении в значительной степени зависят от региона. Для крупных лесных регионов характерно преобладание содействия естественному лесовосстановлению. Установлено, что для регионов с меньшими площадями занятыми лесными породами характерна большая доля искусственного возобновления древесной растительности с сопутствующей обработкой почв (Исаченкова, 2007; Тощева, 1988).

В качестве примера можно привести технологическую структуру сплошных вырубок (рис. 4.7.). На фотографии четко видны пасечные волока, в том числе с укрепленными порубочными остатками.

Рисунок 4.7. Фото территории вырубок среднетаежной подзоны РК. Снимки сделаны с помощью UAV-аппарата DJI Phantom Vision 2+ (фото Кирилова Д.В.).

Для оценки доли антропогенно нарушенных участков, на территории средней тайги РК было исследовано девять участков вырубок 1-3 летнего возраста, на которых заготовка леса была проведена в летний период. Объекты расположены на территории Ношульского лесничества, Прилузского района РК. Анализ полученных результатов показал, что доля нарушенных территорий на лесосеках, при «скандинавской» технологии варьируется от 14.2 до 20.1 %, и в среднем составляет 17.9 %, что не превышает действующие нормативы (Приказ…, 2007). Полученные данные существенно ниже значений приведенных для хлыстового метода заготовки древесины. В ходе сравнения двух способов трелевки леса, «хлыстового» и «скандинавского» можно сделать вывод о том, что доля механически нарушенных почв при проведении сплошных рубок «хлыстовым» методом (Паутов, Ильчуков,

2001) в среднем на 17 % больше, чем с использованием многофункциональных комплексов.

Таблица 4.13. Доля механически нарушенных территорий на вырубках, %

Номер	Год вырубки	Месяц	Тип леса	Доля нарушенных почв, %
1	2013	май	сосняк кустарничково-зеленомошный	14.20
2	2011	июнь	березняк кустарничково-зеленомошный	18.45
3	2012	сентябрь	сосняк кустарничково-зеленомошный	20.07
4	2012	сентябрь	сосняк кустарничково-зеленомошный	19.00
5	2012	сентябрь	сосняк кустарничково-зеленомошный	18.85
6	2011	июнь	березняк кустарничково-зеленомошный	18.74
7	2011	июнь	березняк кустарничково-зеленомошный	17.15
8	2012	сентябрь	сосняк кустарничково-зеленомошный	18.28
9	2011	июнь	березняк кустарничково-зеленомошный	16.17
Среднее значение				17.90

4.2. Условия почвообразования на вырубках

4.2.1 Лесовозобновление на вырубках

Рубки являются одним из важнейших факторов, обусловливающим направление лесообразовательного процесса в РК. На его характер значительное влияние оказывают технология лесосечных работ, сезон лесозаготовки, способ очистки мест рубок, качество и количество сохраненного подроста, оставленные источники обсеменения и т.д. (Львов и др., 1980). Для РК характерно естественное лесовозобновление вырубок (Ларин, 1987; 1987; Ларин, Паутов, 1989). Процесс определяется особенностями предварительного возобновления за счет сохранившегося в процессе лесосечных работ подроста, так и последующего, образовавшегося от семенников, недорубов. Лесовозобновление – достаточно длительный и сложный процесс, обусловленный многими факторами, в первую

очередь природно-климатическими условиями, типом леса, сохранностью подроста и степенью нарушения почвенного покрова (Львов и др., 1980).

В ходе исследований процессов формирования растительного покрова на вырубках в таежной зоне выявлено, что на преобладающих в регионе вырубках сосновых и еловых зеленомошных и долгомошных лесов, наблюдается закономерное замещение хвойных пород лиственными, которое усиливается при переходе от южной к северной подзонам тайги (Ильчуков, 2001; Ильчуков, 2003; Дёгтева, 2005). Существенную роль при восстановлении древесного яруса на вырубках выполняют осина и береза (Львов и др., 1980). Возобновление сосны и ели, при дальнейшей послерубочной эволюции фитоценозов, без дополнительных лесохозяйственных мероприятий на вырубках долгомошных и зеленомошных типов леса протекает затруднительно (Ларин, Паутов, 1989). Лиственные насаждения на вырубках представляют этап послерубочной самовосстановительной сукцессии, типичной для территории европейского Севера (Ларин, 1979, 1989; Тюрин, 1982), занимающие до 77 % площади лесосек РК (Паутов, 1992).

На изученных нами вырубках выявлена закономерная смена хвойных лиственными породами. Доминирующей породой, заселяющей территорию вырубки зеленомошных сосновых лесов, является береза. В первые годы после рубки (2ПР) в составе молодняка преобладает береза, то уже в 20-25 годам (2ПР) соотношение березы и осины выравнивается. Заболачивание почв на молодых вырубках способствует активизации развития долгомошных мхов и, соответственно, приводит к смене зеленомошных фитоценозов на долгомошные. Можно предположить, что во вторичных послерубочных лесах, будет изменяться круговорот ряда зольных элементов, поскольку в составе листового опада на поверхностность почв может поступать другое количество элементов, чем с опадом хвойных (Продуктивность…, 1975; Обмен веществ…, 1977).

4.2.2. Количество и состав растительного опада

К настоящему времени малоизученным являются происходящие изменения в функционировании таежных экосистем при рубках главного пользования и в ходе последующего лесовозобновления, что делает затруднительным оценку пулов и потоков биофильных и зольных элементов, в процессе сукцессий. Важнейшим параметром поступления (возвращения) химических элементов на поверхность почв

является опад растительных остатков (Кошелева, Трофимов, 2008; Vesterdal et al., 2008). Исследование качественного и количественного состава опада проводили на хроносерии после рубки среднетаежных ельников в Усть-Куломском районе в 2007-2009 гг. и в Прилузском районе в 2010 году.

Качество и состав древесного опада, поступающего на поверхность почвы в исследуемых фитоценозах определяется его составом и возрастом. Масса опада в разновозрастном ельнике черничном изменяется от 198 до 303, в молодняке – от 34 до 91 в средневозрастном лиственно-хвойном насаждении – от 188-312 г $м^{-2}$ $год^{-1}$ (табл. 4.1). В составе опада елового фитоценоза доминирует хвоя ели и пихты при незначительном участии растительных остатков лиственных древесных растений. В опаде древесного опада, послерубочных фитоценозов доминируют листья мелколиственных древесных растений: 62.5 % в молодняке первого класса возраста (2УК) и 48.5 % в средневозрастном лиственно-хвойном насаждении (3УК). В средневозрастном лиственно-хвойном насаждении масса опада листьев в три раза больше чем в молодняке. В неактивных фракциях опада лиственно-хвойного насаждения (3УК) высока доля участия ветвей лиственных древесных пород, которые практически отсутствуют на участке молодняка первого класса возраста (2УК).

Репродуктивные органы в составе опада являются одними из наиболее вариативных показателей. Состав шишек отражает интенсивность плодоношения в отдельные годы. Наибольший вклад шишек выявлен в 2008-2009 гг. как в ельнике (1УК), так в средневозрастном хвойно-лиственном насаждении (3УК). В изучаемых лесных фитоценозах наряду с массой опада изменяется и сезонная динамика его поступления. Для ельника черничного выявлено преобладание поступления опада в зимне-весенний период, в то время как для лиственных фитоценозов (3УК) наибольшая доля опада поступает на поверхность почв осенью, что в целом совпадает с ранее опубликованными данными (Кузнецов, 2010; Фролова, 1965). Сезонность поступления опада может оказывать влияние на процессы разложения компонентов опада и биогеохимические циклы элементов в рассматриваемых ценозах.

Таблица 4.1. Масса наземного опада древесного яруса, г $м^{-2}год^{-1}$, воздушно-сухого вещества

Компоненты	1УК					2УК					3УК				
	2006-2007	2007-2008	2008-2009	Хср.	%	2006-2007	2007-2008	2008-2009	Хср.	%	2006-2007	2007-2008	2008-2009	Хср.	%
Листья (хвоя):															
ели	91.9	77.3	97.3	88.8	35.7	6.8	0.7	0.6	2.7	4.4	21.1	28.0	39.7	29.6	12.2
пихты	36.3	32.1	44.5	37.7	15.1	5.0	4.3	5.2	4.9	7.9	10.2	24.6	9.9	14.9	6.2
березы, осины, рябины	51.1	11.2	10.3	24.2	9.7	52.5	19.0	43.2	38.3	62.5	115.8	96.4	140.6	117.6	48.5
Ветви:															
ели	21.8	8.7	11.6	14.0	5.6	2.3	0.2	0.4	1.0	1.6	1.1	2.8	1.6	1.8	0.8
пихты	2.6	39.5	32.4	24.8	10.0	1.1	0.5	1.1	0.9	1.5	1.4	3.8	3.9	3.0	1.2
березы	4.1	10.3	1.0	5.1	2.1	6.6	0.0	1.1	2.6	4.2	13.2	36.3	53.8	34.4	14.2
осины	0.9	0.0	5.4	2.1	0.8	0.4	0.0	0.0	0.1	0.2	0.7	21.4	16.7	12.9	5.3
Репродуктивные органы:															
шишки ели	10.6	3.7	83.3	32.5	13.1	-	-	-	-	-	2.4	0.0	41.8	14.7	6.1
сережки березы	-	0.8	-	0.3	0.3	-	0.1	-	0.1	0.1	0.0	0.4		0.2	0.1
эпифитные лишайники	2.9	4.8	5.2	4.3	1.7	-	-	0.1	0.1	0.1	-	0.1	0.1	0.1	0.1
прочие компоненты	23.0	10.1	12.5	15.2	6.1	16.2	10.1	5.9	10.7	17.5	22.7	13.7	3.6	13.3	5.5
Итого	*245.2*	*198.4*	*303.4*	*249.0*	*100*	*90.9*	*34.9*	*57.7*	*61.2*	*100*	*188.6*	*227.5*	*311.6*	*242.6*	*100*

Концентрации биофильных элементов (азота и углерода) в однотипных компонентах древесного опада ельника (1УК) и производных лиственных фитоценозов (2УК, 3УК) достаточно близки между собой (табл. 4.2) и литературными данными (Бобкова, Тужилкина, 2001). Наиболее богаты азотом во всех исследуемых сообществах листья березы. Наименьшие концентрации азота выявлено в ветвях ели и пихты. Близкие закономерности выявлены по содержанию кальция, калия, марганца, железа, магния и фосфора (табл. 4.3). Для значительного числа компонентов опада растений во вторичных лесах характерно возрастание концентраций в них кальция по сравнению с еловым сообществом.

Таблица 4.2. Содержание азота и углерода в древесном опаде, % , масс. на воздушно-сухую навеску

Компонент опада	**N**	**C**	**C/N**
Листья (хвоя): **1УК**			
ели	1.05±0.19	48.8±1.6	54
пихты	1.57±0.28	52.2±1.7	39
березы, осины, рябины	1.8±0.3	49±1.6	32
Ветви:			
ели	0.85±0.15	50.2±1.6	69
пихты	1.24±0.22	52.5±1.7	50
березы	1.26±0.23	51.1±1.6	47
осины	1.02±0.10	48.1±1.6	55
Листья (хвоя): **2УК**			
ели	1.05±0.19	48.9±1.6	54
пихты	1.4±0.3	52.8±1.7	44
березы, осины	1.9±0.3	48.7±1.6	30
Ветви:			
ели	1.17±0.21	51.1±1.6	51
пихты	0.61±0.11	50.1±1.6	96
березы	1.46±0.26	48.5±1.6	39
осины	1.10±0.20	46.5±1.6	49
Листья (хвоя): **3УК**			
ели	0.79±0.14	46.8±1.5	69
пихты	1.1±0.2	52.1±1.7	54
березы, осины	1.7±0.3	48.7±1.6	34
Ветви:			
ели	0.96±0.17	50.4±1.6	61
пихты	1.0±0.2	51.4±1.6	60
березы	0.9±0.2	52.2±1.7	68
осины	1.1±0.2	52.0±1.7	54

Масса и состав растительного опада в значительной степени определяют поступление углерода и азота на поверхность почвы, что наглядно выражено в резком

снижении элементов, зафиксированных в растительных остатках фитоценоза молодняка (рис. 4.1).

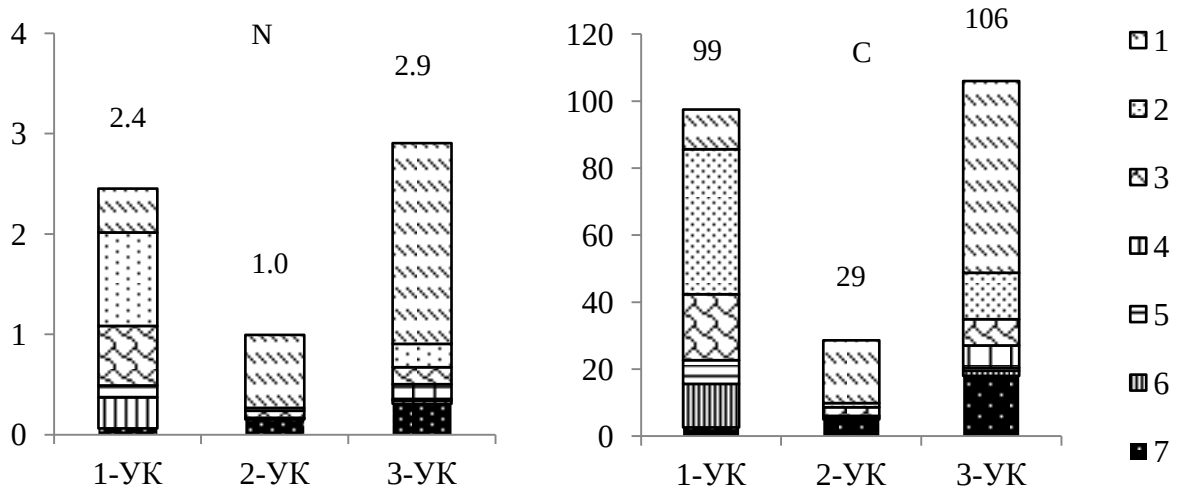


Рисунок 4.1. Поступление азота и углерода с основными компонентами опада древесного яруса (г м$^{-2}$ год$^{-1}$). Обозначения: 1 – листья березы, осины, рябины; 2 – хвоя ели; 3 – хвоя пихты; 4 – ветви осины; 5 – ветви ели; 6 – ветви пихты; 7 – ветви березы. Над столбцом указано суммарное количество элементов.

Лесовосстановление вырубок лиственными породами приводит к изменениям в качественном и количественном составе опада. На поверхность почвы коренного ельника (1УК) и средневозрастного хвойно-лиственного насаждения (3УК) поступает близкое валовое количество углерода и азота (рис. 4.1), но при этом, существенно изменяется привносящий его компонент древесного опада. В условно-фоновом еловом лесу значительное количество углерода и азота сосредоточено в хвое ели и пихты, в средневозрастном березняке (3УК) в составе листьев березы и осины. В первые десятилетия после рубки древостоя происходит уменьшение поступления, как зольных элементов, так и органических компонентов в составе древесного опада (2УК). В лиственных фитоценозах по сравнению с условно-фоновым ельником происходит возрастание поступления калия, фосфора, железа, натрия и особенно кальция, магния, марганца. Возрастание поступления марганца совместно с изменением гидротермического режима, способствует интенсификации процесса образования конкреций в верхних минеральных горизонтах почв вырубок (Дымов, 2007). В производных лиственно-хвойных лесах выявлено некоторое уменьшение количества поступающего на поверхность почв алюминия по сравнению с коренным ельником (рис. 4.2).

Таблица 4.3. Химический состав основных компонентов древесного опада, г кг$^{-1}$ (на воздушно-сухую навеску)

Компонент	Ca	K	Mn	Fe	Al	Mg	Na	P
Листья (хвоя):				**1УК**				
ели	7.8±2.3	1.8±0.7	1.3±0.4	0.15±0.04	0.20±0.05	0.74±0.22	0.16±0.06	1.1±0.3
пихты	8.9±2.7	1.4±0.6	1.4±0.4	0.24±0.07	0.52±0.13	0.71±0.21	0.13±0.05	1.3±0.4
березы, осины, рябины	12±4	2.9±1.2	3.5±1.0	0.31±0.09	0.36±0.09	1.7±0.5	0.17±0.07	2.0±0.6
Ветви:								
ели	5.3±1.6	1.5±0.6	0.55±0.16	0.25±0.07	0.29±0.07	0.52±0.16	0.15±0.06	0.81±0.2
пихты	6.0±1.8	2.4±1.0	1.3±0.4	0.23±0.06	0.41±0.11	1.0±0.3	0.13±0.05	0.97±0.3
березы	5.5±1.7	2.1±0.8	0.86±0.26	0.11±0.03	0.08±0.02	0.89±0.27	0.19±0.08	0.9±0.3
Листья (хвоя):				**2УК**				
ели	11±3	1.3±0.5	1.4±0.4	0.18±0.05	0.22±0.06	1.1±0.3	0.21±0.08	1.2±0.4
пихты	11±3	0.9±0.4	1.6±0.5	0.17±0.05	0.33±0.09	0.84±0.25	0.20±0.08	1.2±0.4
березы, осины, рябины	16±5	1.7±0.7	3.3±1.0	0.32±0.09	0.35±0.09	2.0±0.6	0.21±0.08	1.8±0.6
Ветви:								
ели	7.0±0.2	1.2±0.5	0.51±0.15	0.22±0.06	0.22±0.06	0.68±0.2	0.27±0.11	0.86±0.26
пихты	5.4±1.6	1.0±0.4	0.60±0.18	0.22±0.06	0.29±0.08	0.86±0.26	0.23±0.09	0.58±0.17
березы	8.1±2.4	1.5±0.6	0.77±0.23	0.10±0.03	0.08±0.02	1.1±0.3	0.19±0.08	1.1±0.3
Листья (хвоя):				**3УК**				
ели	20±6	1.5±0.6	1.4±0.4	0.078±0.022	0.11±0.03	1.1±0.3	0.15±0.06	0.94±0.3
пихты	14±4	1.3±0.5	2.0±0.6	0.15±0.04	0.51±0.13	0.9±0.3	0.15±0.06	1.2±0.4
березы, осины, рябины	15±4	2.7±1.1	3.7±1.1	0.28±0.08	0.27±0.07	1.9±0.6	0.16±0.06	2.10±0.06
Ветви:								
ели	8.2±2.4	1.4±0.6	1.3±0.4	0.27±0.08	0.43±0.07	0.85±0.3	0.15±0.06	1.0±0.3
пихты	9.1±2.7	2.6±1.0	1.0±0.3	0.12±0.03	0.18±0.05	1.3±0.4	0.17±0.07	1.0±0.3
березы	7.2±2.2	1.2±0.5	0.73±0.22	0.11±0.03	0.10±0.03	1.0±0.3	0.19±0.07	0.7±0.2
осины	9.1±2.7	1.8±0.7	2.1±0.6	0.28±0.08	0.43±0.11	1.3±0.4	0.15±0.06	1.1±0.3

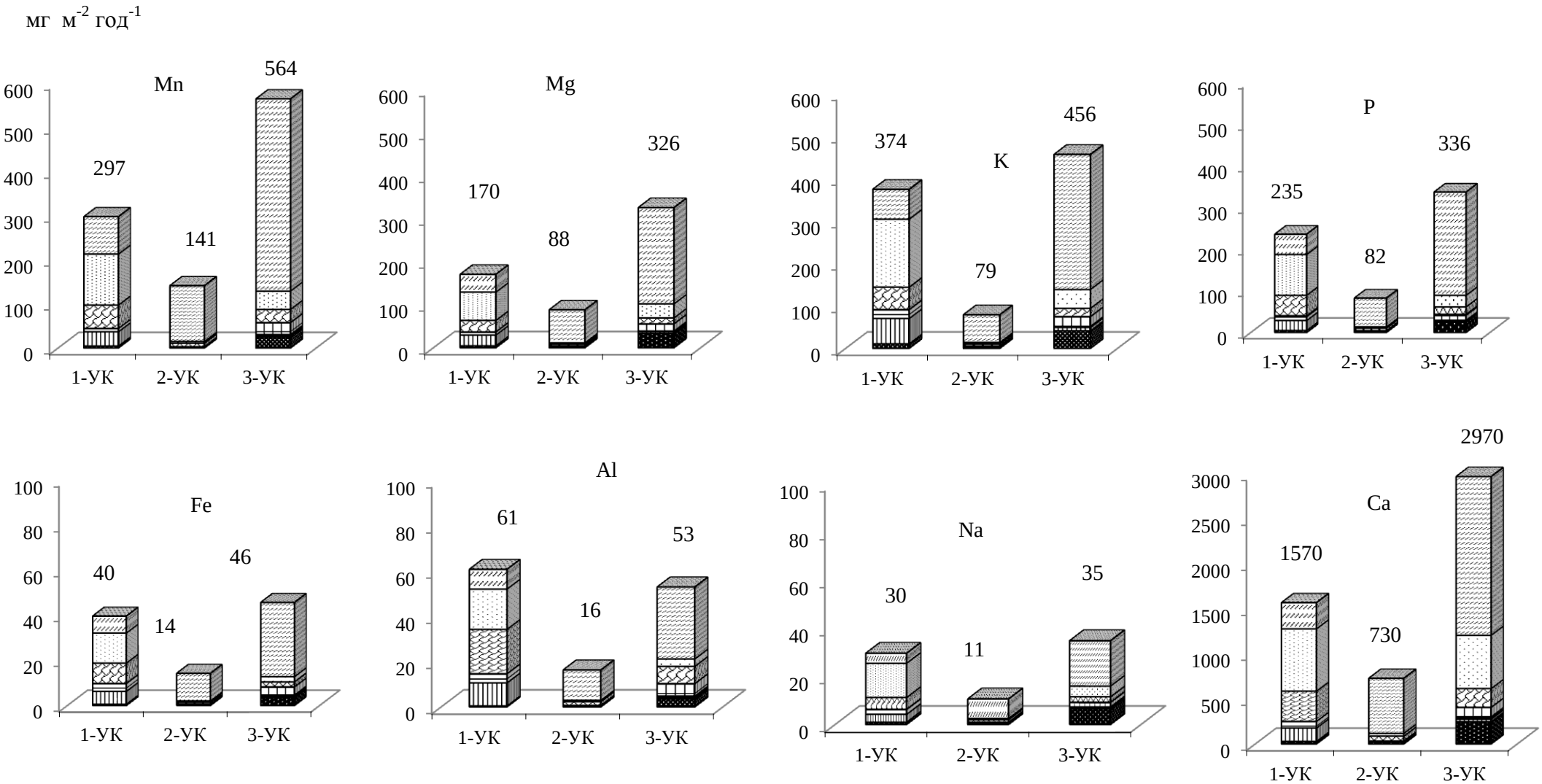


Рисунок 4.2. Поступление зольных элементов с основными компонентами древесного опада (обозначения как на рис. 4.1).

На первые годы после рубки в составе опада основную долю в опаде занимают остатки растений напочвенного покрова, составляя около 66 % от общего его количества. В то время как в условно-фоновом ельнике и средневозрастном лиственно-хвойного насаждении (3УК) вклад растений напочвенного покрова составляет около 33 и 19 % соответственно (табл. 4.4). При этом, возрастание вклада опада осуществляется преимущественно за счет мхов и травянистых растений, доля которых возрастает на вырубках. Кроме этого, что после рубки леса в верхних горизонтах почв и подстилках сохраняется значительное количество тонких корней (Бобкова, 1987). На территории вырубок сохраняется крупные порубочные остатки (Finer et al., 2002), пни (Palviainen et al., 2010), являющихся длительными «очагами поступления» как органических, так и минеральных компонентов.

Таблица 4.4. Масса опада растений напочвенного покрова*, г $м^{-2}год^{-1}$, воздушно-сухого вещества

Компоненты	1УК		2УК		3УК	
	X	%	X	%	X	%
Надземные органы:						
мхи	20.6	16.8	33.0	28.0	4.2	7.2
травы	9.0	7.3	44.0	37.4	7.0	11.9
кустарнички	10.5	8.6	0.6	0.5	3.3	5.6
Корни:						
деревьев	65.0	53.0	17.3	14.7	35.9	61.3
трав	4.5	3.7	22.1	18.8	5.0	8.5
кустарничков	13.0	10.6	0.7	0.6	3.2	5.5
Итого	*122.6*	*100*	*117.7*	*100*	*58.6*	*100*

* данные за 2006-2007 год.

Близкие закономерности в составе опада были выявлены во вторичных фитоценозах после рубки сосняков бруснично-зеленомошных. Концентрации биофильных элементов (C, N) в однотипных компонентах растительного опада условно-фонового и производных лиственных лесов близки (табл. 4.5). Наиболее богаты азотом листья березы, осины и ивы. В то время как медленно разлагающиеся компоненты опада (шишки, кора, ветви) содержат меньшее содержание азота. Схожие закономерности наблюдаются и в содержании фосфора, калия, кальция, марганца, магния, железа (табл. 4.5). В почвах

вторичных лесов наблюдается тенденция увеличения кальция по сравнению с условно-фоновыми. Смена сосны лиственными породами способствует увеличению доли углерода, поступающего на поверхность почвы в виде опада листьев мелколиственных древесных растений.

Изменяется и качественный состав, в сосняке преобладающие количества азота и углерода привносится в виде хвои, в средневозрастном березняке в листьях осины, березы, и ивы.

Анализ содержания аминокислот показал, что суммарное содержание аминокислот в целом повторяет распределение углерода и азота в компонентах растительного опада (табл. 4.6). Суммарное содержание 17 аминокислот в значительной степени зависит от типа опада. Для лиственного опада содержание аминокислот, выше по сравнению с неактивными фракциями. Минимальное содержание выявлено в шишках – 0.45 %, максимальное в листах ивы – 6.9 %. Выявлено возрастание содержания аминокислот в опаде молодняка первого класса возраста (участок 2ПР).

Относительный вклад отдельных групп аминокислот является постоянным. В составе компонентов опада доминируют неполярные аминокислоты: их доля составляет 40-47 %. На долю кислых аминокислот приходится 24-27 %, полярных – 16-29 %, основных – 11-13 %.

Учитывая возрастающую роль опада лиственных деревьев в лиственно-хвойных молодняках, можно предположить, что на данных участках возрастает вклад аминокислот. Возможно усложнение структуры гумусовых веществ, возрастание доли гидрофильных, способных к миграции компонентов.

Таблица 4.5. Содержание зольных элементов, углерода и азота в компонентах растительного опада (возобновление растительности после рубки сосняка бруснично-зеленомошного).

Компонент опада	Mn	Fe	Al	Ca	Mg	K	Na	P	C	N
	мг кг$^{-1}$								%, масс.	
Сосняк бруснично-зеленомошный **(1ПР)**										
Листья березы	2200±700	380±110	410±110	10000±3000	1300±400	3200±1300	36±14	1500±400	49.5±1.6	0.98±0.18
Хвоя сосны	1000±300	270±80	460±120	8000±2400	620±190	1100±400	35±14	570±170	51.7±1.6	0.57±0.10
Кора сосны	440±130	22±60	500±130	6900±2100	370±110	570±230	16±6	340±100	49.2±1.6	0.36±0.06
Хвоя ели	2000±600	130±40	190±50	13000±4000	780±230	1400±600	61±25	730±220	47.5±1.5	0.69±0.12
Шишка сосны	38±12	23±6	160±40	330±100	300±90	1800±700	21±8	160±50	51.6±1.6	0.41±0.07
Березняк бруснично-долгомошный **(2ПР)**										
Листья березы	2900±900	300±80	230±60	14000±4000	1500±500	2200±900	45±18	1500±400	49.5±1.6	1.23±0.22
Хвоя ели	2800±800	140±40	170±40	17000±5000	880±260	2000±800	34±14	1000±300	47.9±1.5	0.89±0.16
Листья осины	1900±600	530±150	300±80	17000±5000	820±240	1400±500	33±13	1300±400	49.0±1.6	1.27±0.23
Хвоя сосны	1400±400	170±50	380±100	7600±2300	550±160	1100±400	27±11	680±200	50.1±1.6	0.72±0.13
Кора сосны	7580±230	140±40	190±50	13000±4000	240±70	490±190	14±5	300±90	47.4±1.5	0.49±0.08
Березняк бруснично-долгомошный **(3ПР)**										
Листья березы	3200±1000	230±60	230±60	13000±4000	1400±400	2200±900	25±10	1500±400	48.9±1.6	0.98±0.18
Листья ивы	3200±900	380±110	270±70	15000±400	1600±500	1700±700	29±11	1400±400	48.7±1.6	1.24±0.22
Хвоя сосны	1000±300	120±30	320±80	7400±2200	740±220	1000±400	20±8	630±190	50.1±1.6	0.76±0.14
Хвоя ели	1500±400	69±19	130±30	17000±5000	940±280	1600±600	30±12	810±240	47.3±1.5	0.75±0.13

Таблица 4.6. Содержание аминокислот в составе основных компонентов растительного опада (возобновление растительности после рубки сосняка бруснично-зеленомошного).

Участок	Образец	СУММА, %	Абсолютные значения				Относительный вклад			
			неполярные	полярные	кислые	основные	неполярные	полярные	кислые	основные
1ПР	Лист березы	3.55	1.54	0.67	0.87	0.47	43	19	25	13
	Лист осины	2.92	1.28	0.55	0.72	0.38	44	19	25	13
	Лист рябины	2.51	1.14	0.47	0.59	0.33	45	19	24	13
	Хвоя сосны	1.67	0.72	0.32	0.42	0.22	43	19	25	13
	Кора сосны	0.86	0.38	0.16	0.21	0.11	44	19	24	13
	Хвоя ели	2.29	1.01	0.46	0.58	0.31	44	20	25	14
2ПР	Лист березы	4.50	1.92	0.82	1.11	0.63	43	18	25	14
	Хвоя ели	3.28	1.41	0.58	0.84	0.44	43	18	26	13
	Лист осины	4.66	2.17	0.75	1.1	0.64	47	16	24	14
	Хвоя сосны	1.39	0.63	0.22	0.34	0.19	45	16	24	14
	Кора сосны	1.29	0.59	0.23	0.32	0.16	46	18	25	12
	Лист ивы	5.21	2.25	0.94	1.35	0.68	43	18	26	13
	Лист рябины	5.42	2.40	0.95	1.36	0.72	44	18	25	13
3ПР	Лист березы	3.14	1.36	0.56	0.79	0.43	43	18	25	14
	Лист ивы	3.28	1.45	0.60	0.84	0.39	44	18	26	12
	Хвоя сосны	3.00	1.16	0.86	0.65	0.34	39	29	22	11
	Хвоя ели	2.97	1.33	0.52	0.74	0.39	45	18	25	13
	Лист рябины	6.91	2.88	1.21	1.85	0.97	42	18	27	14

* – обозначения участков, как в таблице 2.2.

Таблица 4.7. Содержание углерода водорастворимых соединений в основных компонентах опада, мг $г^{-1}$.

Показатель	Свс	Свос	Свнс	Nвс
Сосняк бруснично-зеленомошный (1ПР)				
листья березы	13.19	13.14	0.05	0.18
хвоя сосны	16.45	16.45	0.00	0.20
хвоя ели	19.40	19.40	0.00	0.23
валежина	2.1	2.1	0	0.04
Березняк бруснично-долгомошный (2ПР)				
листья березы	9.31	9.31	0.00	0.28
хвоя ели	22.31	22.31	0.00	0.12
листья осины	8.84	8.79	0.05	0.18
хвоя сосны	19.00	19.00	0	0.02
Березняк бруснично-долгомошный (3ПР)				
листья березы	8.59	8.59	0	0.02
хвоя сосны	18.72	18.72	0	0.23
хвоя ели	16.66	16.66	0	0.11

Таблица 4.8. Относительная доля хроматографических фракций в составе щелочерастворимого вещества компонентов опада, % мас.

Участок	Компонент опада	Номер фракции					Dh
		1	2	3	4	5	
1ПР	листья березы	53.8	12.9	11.0	21.8	0.4	2.0
	хвоя сосны	40.5	16.4	17.0	24.9	1.1	1.3
	хвоя ели	21.6	11.3	19.7	45.2	2.2	0.5
2ПР	листья березы	39.8	13.3	14.6	31.0	1.3	1.1
	хвоя сосны	41.4	14.9	13.0	15.4	15.3	1.3
	хвоя ели	30.9	13.6	22.3	31.6	1.6	0.8
	листья осины	51.8	14.7	14.6	18.1	0.9	2.0
3ПР	листья березы	37.9	13.0	16.1	31.6	1.3	1.0
	хвоя сосны	40.3	16.1	16.0	26.7	0.9	1.3
	хвоя ели	29.6	13.6	15.2	39.0	2.6	0.8

По данным твердофазной ^{13}С-ЯМР спектроскопии от 21 до 47 % углерода опада представлено алифатическими фрагментами, при крайне низком содержании в разлагающейся древесине (табл. 4.9). Наибольший вклад могут оказывать хвоя пихты и листья березы, 47 и 33 % соответственно. Накопление углерода в составе О-алкильных фрагментов (продукты деструкции целлюлозы), при разложении опада могут вносить все рассматриваемые компоненты, но особенно хвоя сосны (47 %), хвоя ели (29 %) и разлагающаяся древесина (38 %).

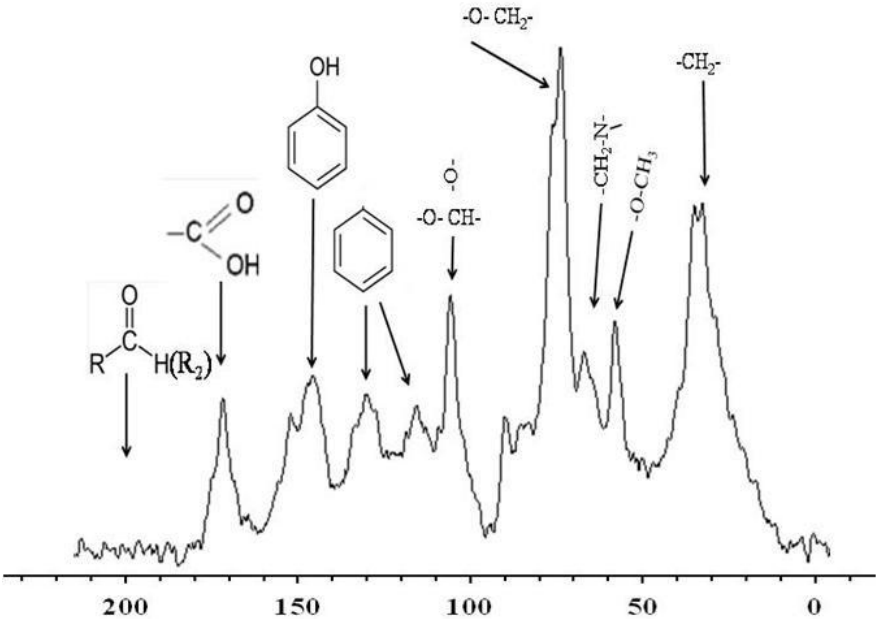


Рисунок 4.3. Пример спектра ядерного магнитного резонанса на ядрах изотопа углерода ^{13}C хвои ели (*Picea abies*).

Поступление на почву углерода в составе метоксильных групп (продукты разложения лигнина), в значительной степени обуславливает валеж, но при этом в различных компонентах опада их доля так, же существенна 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 %) .

Таблица 4.9. Содержание молекулярных фрагментов и интегральные показатели в составе органического вещества компонентов опада, % (по данным ^{13}C-ЯМР спектроскопии).

Образец	Распределение углерода, %								fa	алкил/ О-алкил	Hb	AR/ AL
	C_{Alk-H}	C_{CH3-O}	C_{Alk-O}	$C_{O-Alk-O}$	$C_{Ar-H(C)}$	$C_{Ar-O,N}$	$C_{COOH(R)}$	$C_{C=0}$				
Лист березы	32.6	7.5	22.7	9.4	16.3	6.8	4.5	0.2	23	0.8	48.9	0.300
Хвоя ели	25.2	8.5	29.1	8.0	17.3	7.7	4.2	0.0	25	0.6	42.5	0.333
Хвоя сосны	20.9	7.8	47.4	10.6	8.7	2.0	1.4	1.3	11	0.3	29.6	0.120
Хвоя пихты	47.5	9.3	22.8	5.1	9.3	2.4	2.9	0.7	12	1.3	56.8	0.133
Валеж	0.1	13.8	38.0	3.0	29.4	12.5	1.0	2.2	42	0.0	29.5	0.721

Компоненты опада существенно различаются степенью ароматичности, возрастающей от 11 до 42 в ряду хвоя сосны - хвоя пихты - листья березы - хвои ели - валеж. Различия в составе содержания различных молекулярных фрагментов наиболее наглядно представлены на примере рис. 4.4.

Анализ относительного содержания молекулярно гомогенных фракций позволил выявить сходства и различия щелочерастворимого органического вещества в различных компонентах опада. Наибольшим содержанием гидрофильных соединений характеризуется разлагающаяся древесина, несколько меньшая доля характерна для хвои ели и хвои сосны. При этом, наибольшее содержание четвертой гидрофобной фракции, в которую попадают лигниноподобные соединения, так же выявлено в составе разлагающейся древесины. В других компонентах опада содержание лигниноподобных веществ на порядок меньше. Наиболее гидрофобные фракции органического вещества, предположительно связанные с железом и алюминием, практически отсутствуют в листьях березы, хвое ели и сосны, но при этом, доля данных соединений возрастает в коре сосны и разлагающейся древесине. Содержание углерода водорастворимых соединений в компонентах опада составляет от 7.5 до 22.3 мг $г^{-1}$, наибольшие значения характерны для хвои ели.

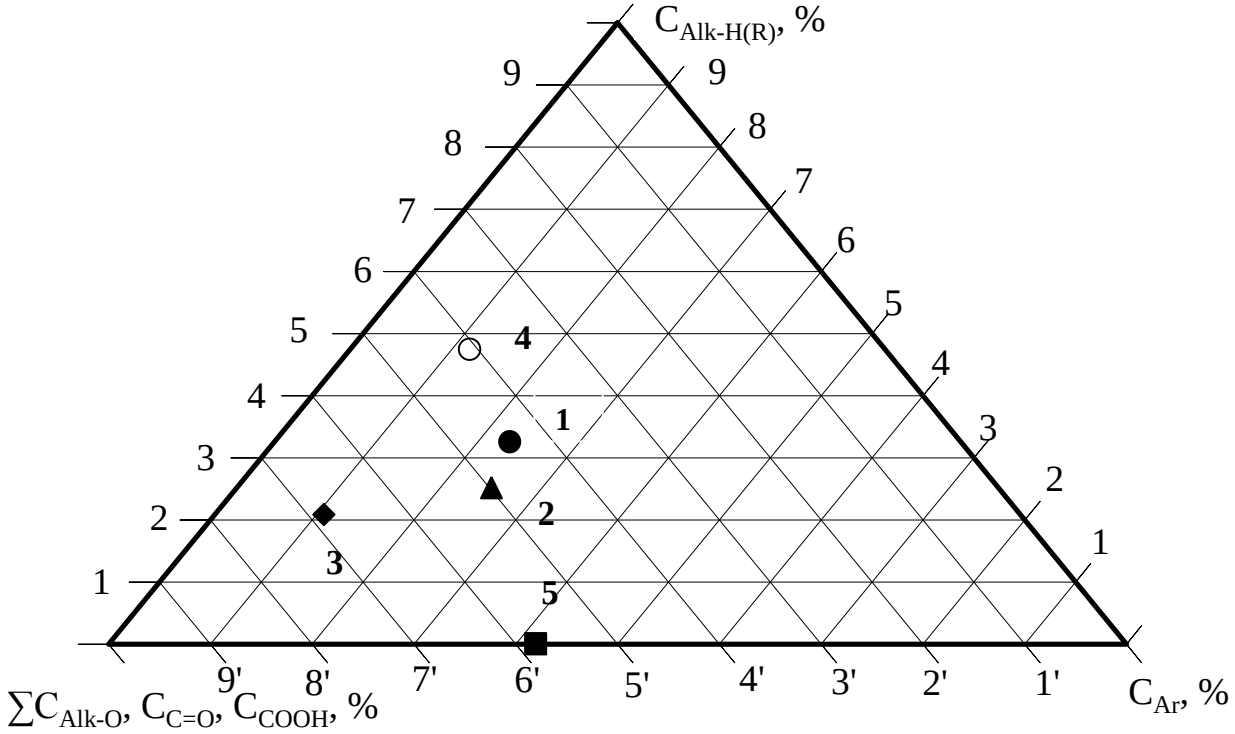


Рисунок 4.4. Диаграмма состава молекулярных фрагментов органического вещества компонентов опада. 1 – лист березы, 2 –хвоя ели, 3 – хвоя сосны, 4 –хвоя пихты, 5 – валеж.

Анализ качественного и количественного состава древесного опада показал, что рубки существенно изменяют пулы химических элементов, поступающих на

поверхность почв. Показано, что естественное лесовозобновление вырубок ельников и сосняков, проходящее через смену пород, обуславливает существенное изменение состава древесного опада. На первых десятилетиях после рубки в составе растительного опада велика роль растений напочвенного покрова. В ходе дальнейшего лесовосстановления на вырубках общая масса опада увеличивается и к 36-38- летнему возрасту становиться близкой к коренным (условно-коренным) лесам, при существенных отличиях в качественном и количеством составе. Возрастание доли опада лиственных деревьев обуславливает увеличение поступления на поверхность почв марганца, кальция, магния и некоторых других элементов. Можно предположить, что возрастание доли быстроразлагающегося опада в виде листьев может способствовать увеличению органических соединений способных к комплексообразованию и выносу органоминеральных компонентов в близлежащие водотоки.

4.2.3. Температурный режим почв вторичных лесов

Одной из важнейших экологических характеристик почв является температурный режим (Димо, 1985; Шеин, 2005; Архангельская, 2012). Параметры теплообеспеченности определяют ряд важнейших свойств и функций почв, детерминируют рост и развитие растений, жизнедеятельность биоты, скорость протекания физико-химических и биохимических процессов в почвах. К настоящему времени в Республике Коми (РК) основное внимание было привлечено к температурным характеристикам почв криолитозоны (Каверин и др., 2014). Несмотря на преобладание лесных почв на территории европейского Севера, работ, посвященных температурным параметрам почв таежной зоны, существенно меньше. К настоящему времени, исследован температурный режим целинных подзолистых (Кононенко, 1986; Путеводитель…, 2002), торфяно-подзолисто-глеевых почв (Осипов, Кузин, 2013). Рассмотрены закономерности изменения температурного режима при сельскохозяйственном освоении подзолистых почв северной (Казаков, 1985), средней (Арчегова и др., 1976, Рубцов, Дерюгина, 1989) и южной тайги (Канев, Мокиев, 2004). Показано, что в почвах пахотных угодий возрастает продолжительность периода с температурой выше 5°С, увеличивается глубина их проникновения до 140-160 см (в целинных подзолистых почвах активные температуры проникают на глубину 40-50, реже до 70 см). Однако на территории бореального пояса основным фактором изменения почв являются рубки главного

пользования. Наибольшие площади лесов были затронуты рубками во второй половине 20-го века (Трансформация…, 1997; Леса…, 1999; Лесное хозяйство.., 2012). К настоящему времени показано, что в ходе естественного лесовозобновления существенно изменяется качественный и количественный состав растительного опада (Бобкова, Лиханова, 2012; Дымов и др., 2012б), активизируются процессы заболачивания (Дмитриев, 1950), изменяются морфологические (Архипова, Исаченкова, 2013) и физико-химические свойства почв (Дымов, и др., 2012б), особенности почвенного органического вещества (Дымов, и др., 2012б; Falsone et al., 2012; Дымов, Милановский, 2014). Вероятно, при сведении древесной растительности и последующем лесовозобновлении должно происходить изменение микроклиматических характеристик. Наряду с изменением основных факторов функционирования экосистем изменяется и температура почв, обуславливающая термодинамическое равновесие в экосистемах, в том числе в температуре воздуха и конвекционных воздушных потоков, изменению ПОВ, биопродукционного процесса лесов, эмиссии парниковых газов с поверхности почв (Курганова, 2010; Осипов, 2013). Температура почв в значительной степени определяет дальнейшую динамику пулов углерода в лесных экосистемах, и часто используются в имитационных моделях (Чертов и др., 2012). Изменение температуры почв, совместно с увеличением поступления порубочных остатков и компонентов растительного опада, может способствовать изменению эмиссии парниковых газов с поверхности лесных почв (Davidson, Janssens, 2006). Поэтому, для характеристики свойств почв на вырубках и в почвах вторичных фитоценозов наиболее существенное значение имеют мониторинговые наблюдения за изменением температуры почв.

На основании полученных данных рассчитывали среднесуточные и среднемесячные значения температуры, вычисляли суммы активных температур выше +10°С, определяли продолжительность периодов с температурой более +5°С, +10°С. Среднегодовую температуру вычисляли сложением всех значений среднемесячной температуры с последующим делением на 12 месяцев. Среднемесячная и среднесуточная температура определяется аналогичным образом. Только для вычисления среднемесячной температуры деление идет на количество дней в исследуемом месяце, а для среднесуточной – среднее между 8 измерениями.

Температура воздуха в период наблюдений несколько различается по годам (табл. 4.9). Среднегодовая температура воздуха за период исследования составила +1°С, что несколько выше среднемноголетней (+0.3°С).

Самым теплым по среднегодовой температуре был 2008 г. (+2.4°С) за счет более теплого зимнего периода (температура самого холодного месяца -12°С). При этом сумма положительных значений температуры в этот год составила +1864°С, что соответствует минимальным значениям за период наблюдений. Продолжительность периода с температурой выше 0°С в этот год составила 209 дней. Сумма отрицательных значений температуры составила -1122°С, что в 2.2 раза меньше, чем в самом холодном году 2010, когда сумма отрицательных значений температуры составила -2501°С, среднегодовая температура была равна +0.3°С. Наиболее высокой суммой положительных значений температуры характеризовался 2010 г. (+2501°С) при продолжительности периода с температурой выше 0°С 212 дней. По среднегодовой температуре, аналогично с 2008 г., теплыми являются 2011 и 2013 гг.,

Таблица 4.9. Температурные характеристики воздуха (по данным метеостанции «Усть-Кулом»), °С.

Показатель		Среднемноголетняя	Годы наблюдений						
			2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Температура воздуха	среднегодовая	+0.3	+2.4	+0.4	+0.3	+1.4	+1	+1.3	+0.6
	самого теплого месяца	+17.3	+19.3	+15.5	+18.9	+18.4	+17.5	+19.2	+13.5
	самого холодного месяца	-16.5	-12.4	-14.9	-21.1	-20.5	-16.5	-18.1	-17.3
Сумма температур	< 0	-	-1122	-1771	-2501	-1196	-1785	-1687	-1668
	> 0	1907	1864	1926	2154	2125	2209	2100	1928
	> 5	1600-1800	1700	1842	1967	2004	2113	1982	1794
	> 10	1400-1500	1344	1483	1630	1639	1746	1660	1481

Среднемноголетние показатели согласно (Научно-прикладной…, 1989), данные метеостанции «Усть-Кулом» с сайта http://rp5.ru.

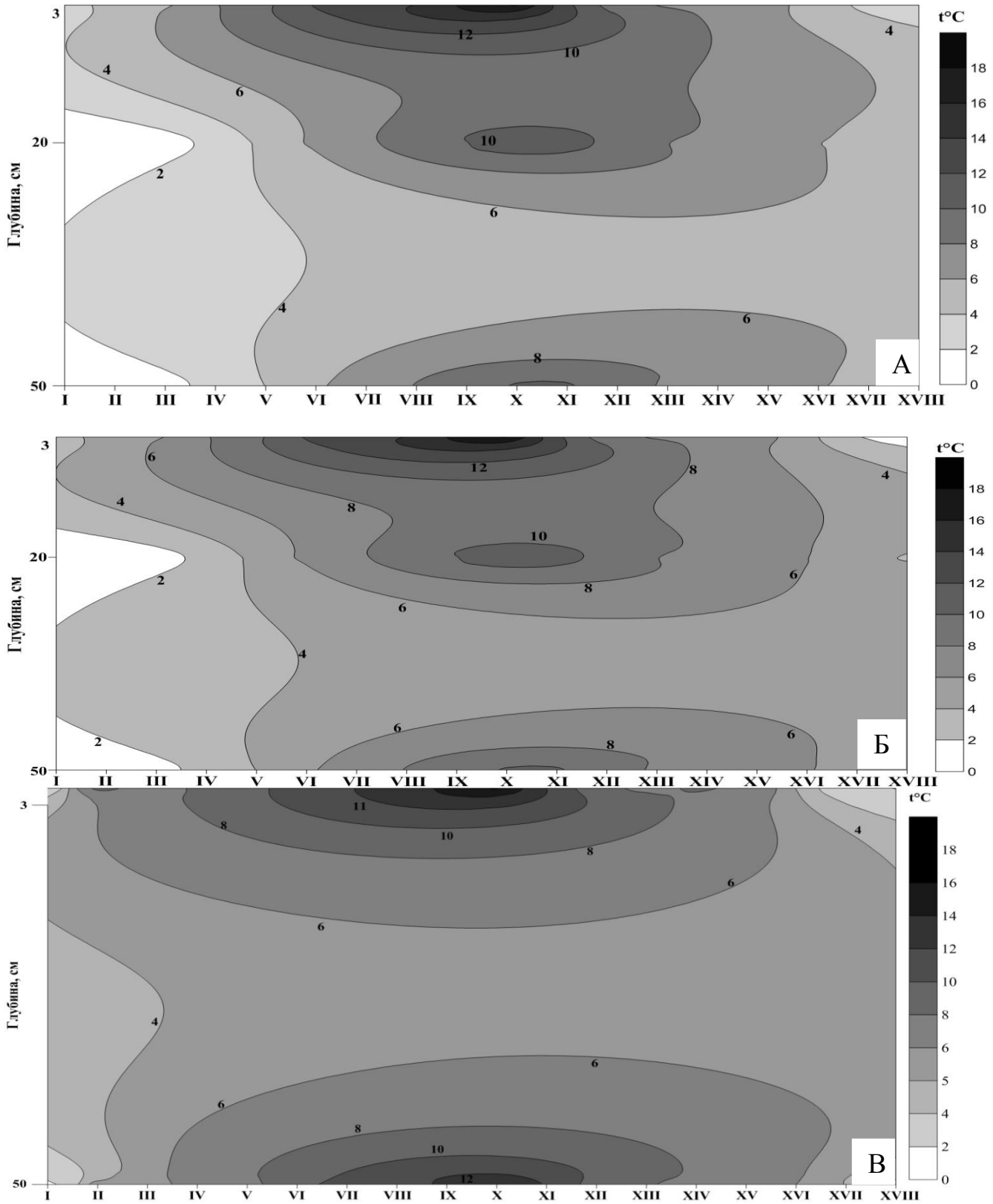


Рисунок 4.4. Подекадная динамика температуры почв коренного ельника (А), молодняка первого класса возраста (Б) и средневозрастного лиственно-хвойного насаждения (В). Римскими цифрами указан номер декад с мая по октябрь 2010 г.

с периодами температуры выше 0°С – 202 дня и 192 дня соответственно. Несколько более холодными, аналогично с 2010 г., были 2009, 2012 и 2014 гг. с периодом с отрицательной температурой 182, 200 и 194 дня соответственно. Суммы положительных значений. температуры в эти годы практически не различаются и варьируют в пределах +1928…+2125°С, а суммы отрицательных изменяются от -1196 до -1771°С.

За период наблюдения в коренном ельнике отрицательная температура прослеживалась, в основном, в подстилке, но холодной зимой 2011 г. температура ниже 0°С была зарегистрирована на глубине не только 20 см, но и на глубине 50 см. В подстилке температура ниже 0°С, со средней температурой от минус 0.5°С до минус 1.8°С зафиксирована на протяжение от 166 суток в 2009, 2010 гг. до 191 суток в 2011 г. Минимальная среднесуточная температура в подстилках опускалась до минус 8.8°С 15 февраля 2011г. На глубинах 20 и 50 см отрицательные температуры в 2011 г. сохранялись на протяжении 47 и 41 суток соответственно. Суммы температур ниже 0°С в эти период составили минус 5.1°С на глубине 20 см и минус 1.5°С на глубине 50 см.

Максимальная температура на глубине 20 см составила +12°С, а на глубине 50 см – +11°С. Среднемесячная температура ферментативного горизонта лесной подстилки в период с мая по октябрь характеризуется значениями близкими к температуре воздуха. Полученные нами данные, в целом, совпадают с результатами, опубликованными В.Г. Казаковым по подзолистым почвам Южного Тимана (Казаков, 1985; Путеводитель…, 2002).

В почвах 2УК и 3УК наблюдается увеличение среднегодовой температуры, как в подстилке, так и в минеральных горизонтах (табл. 4.10). На вырубке (2УК) среднемесячная температура ферментативного горизонта выше, чем в почве коренного ельника на 1.0-1.5°С. Схожая динамика среднемесячных температур прослеживается и при анализе почв средневозрастного лиственно-хвойного насаждения (3УК). Появление отрицательных значений среднесуточной температуры в подстилке определяется климатическими условиями года (появлением ранних заморозков, установлением снежного покрова), а также характером растительности. Количество дней с температурой ниже 0°С в подстилке молодой вырубки (2УК) варьирует по годам от 136 суток в 2011 г. до 157 - в 2010 г., что в 1.2 раза меньше, чем в коренном ельнике.

Отрицательная температура на глубине 20 см были зафиксирована на участке молодняка в период с конца февраля до конца апреля в 2010 г. (продолжительность 61 сутки) при этом сумма температур составляла минус 3.7°С, в 2011 г. отрицательная температура на глубине 20 см были зафиксирована только в течение 12 суток.

По всей видимости, промерзание связано с изменением мощности и теплопроводящей способности снежного покрова в холодный зимний период, а также существенно низкой температурой воздуха 2010 и 2011 годов исследования. Среднесуточной отрицательной температуры на участке молодняка за период наблюдения на глубине 50 см не выявлено.

Подстилки средневозрастного лиственно-хвойного насаждения наиболее теплые. Число дней с отрицательными значениями среднесуточной температурой существенно варьирует: от 10 в 2009 до 133 суток в 2011гг (табл. 4.10). При этом сумма значений среднесуточной отрицательной температуры значительно меньше, чем на участке коренного ельника и молодой вырубки, и изменяется от минус 0.4 в 2009 до минус 21.8°С в 2011 г.. Среднесуточной отрицательной температуры на участке средневозрастного лиственно-хвойного насаждения за период наблюдения на глубине 50 см не выявлено.

Вероятно, более высокие значения температуры почв лиственно-хвойного насаждения в значительной степени связаны с несколькими факторами. В первую очередь, с особенностями снежного покрова. В работе (Рубцов, Дерюгина, 1989) отмечается, что во вторичных лиственных лесах почвы промерзают на меньшую глубину связи с более мощным снежным покровом по сравнению с хвойными фитоценозами.

Кроме этого, существенную роль оказывает не только мощность снежного покрова, но также время формирования устойчивого снежного покрова осенью. При этом, лесной полог оказывает двоякое влияние на становление устойчивого снежного покрова. С одной стороны, на ветвях хвойных древостоев задерживается часть выпадающего снега, по сравнению с открытыми участками. С другой стороны, лесной ярус сохраняет проникший под полог снег от испарения, выдувания и снеготаяния, в период оттепелей, способствуя более длительному сохранению

Таблица 4.10. Параметры температурного режима в почвах коренного ельника (1УК) и разновозрастных лиственно-хвойных насаждений, сформировавшихся после рубок 2001-2002 (2УК) и 1969-1970 (3УК) гг.

Участок	Глубина, см	Средняя температура, °С			Количество суток с температурой			Сумма температур, °С		
		год	самый теплый месяц	самый холодный месяц	< 0°С	> 5°С	> 10°С	< 0°С	>5°С	> 10°С
2008 г. (июль-декабрь)										
Коренной ельник	3	6	15.3	-0.2	16	86	51	-16.8	946.9	702.5
	20	6.1	10.4	1.8	0	98	11	0	842.3	132.1
	50	6.1	9.7	2.2	0	101	2	0	831.7	37.9
Молодняк первого класса возраста	3	7.3	17.5	0.7	9	93	60	-2.6	1122.9	888.3
	20	7.1	12.1	2.3	0	118	57	0	1077.8	645.6
	50	6.9	10.9	2.6	0	121	40	0	1043.7	430.1
Средневозрастное лиственно-хвойное насаждение	3	6.5	14.0	0.8	3	92	53	-0.1	977	682.2
	20	отс.*								
	50	6.6	11.1	1.9	0	101	45	0	936.4	491.7
2009 г.										
Коренной ельник	3	3.7	11.8	-0.7	166	130	65	-81.4	1361.1	835.1
	20	3.5	7.9	0.6	0	125	1	0	987.6	10.0
	50	3.5	7.4	0.9	0	128	0	0	962.1	0
Молодняк первого класса возраста	3	4.5	12.8	-0.3	146	138	91	-34.7	1526.8	1151.7
	20	3.9	8.5	0.4	0	134	15	0	1115.3	152.4
	50	3.9	7.7	0.8	0	133	0	0	1042.2	0
Средневозрастное лиственно-хвойное насаждение	3	4.4	11.5	0.1	10	138	72	-0.4	1415.8	862.8
	20	отс.*								
	50	4.1	9.2	0.6	0	143	31	0	1226.7	320.8
2010 г.										
Коренной ельник	3	3.7	13.9	-1.1	166	134	66	-191.0	1436.6	924,5
	20	3.5	8.6	0.2	0	125	18	0	989.7	200,9
	50	3.5	7.9	0.4	0	122	15	0	935.1	157.2
Молодняк первого класса возраста	3	4.2	14.7	-1.2	157	137	66	-107.1	1482.7	947.9
	20	3.4	8.8	0.4	61	122	22	-3.7	1009.2	250.1
	50	3.5	7.9	0.9	0	120	15	0	932.1	157
Средневозрастное лиственно-хвойное насаждение	3	4.3	13	0.2	102	148	67	-20.8	1494.7	869.8
	20	отс.*								
	50	4.3	11.3	0.3	0	155	50	0	1370.0	600.1
2011 г.										
Коренной ельник	3	3.0	13.3	-5.7	191	137	62	-350.9	1360.4	787.0
	20	3.1	8.0	0.1	47	121	6	-5.1	928.2	61.2
	50	3.0	7.5	0.2	41	121	0	-1.5	879.1	0
Молодняк	3	4.2	13.6	-0.6	136	148	74	-51.1	1493.3	918.9

первого класса	20	3,5	8.4	0.2	12	125	14	-0.04	1002.9	144.7
возраста	50	3.5	7.6	0.6	0	124	0	0	941.2	0
Средневозрастн	3	4.6	13.4	-0.3	115	159	84	-21.8	1643.8	1068.7
ое лиственно-	20	отс.*								
хвойное насаждение	50	4.4	10.9	0.2	0	153	62	0	1396.4	701.2
2012 г. (январь-июнь)										
Коренной ельник	3	1.4	11.0	-0.9	129	29	10	-62.1	277.8	124
	20	1.0 7.0	5.6	0.6	0	11	0	0	66.4	0
	50	отс.*								
Молодняк	3	2.4	11.3	-0.7	105	45	24	-35.5	447.4	286.5
первого класса	20	отс.*								
возраста	50	1.6	5.5	0.7	0	19	0	0	119.2	0
Средневозрастн	3	1.9	10.6	-0.1	93	33	8	-10.5	291.9	93.4
ое лиственно-	20	1.9	9.7	0.2	0	30	6	0	246.4	66.3
хвойное насаждение	50	1.9	8.0	0.8	0	26	0	0	149.5	0
2013 г.										
Коренной ельник	3	отс.*								
	20									
	50									
Молодняк	3									
первого класса	20									
возраста	50									
Средневозрастн	3	4.1	12.9	-0.1	133	131	79	-14.9	1414.6	926.8
ое лиственно-	20	4.1	12.6	0.2	12	132	76	-0.2	1350.2	932.2
хвойное насаждение	50	от с.*	11.6	0.6	0	134	66	0	1277.6	761.1
2014 г. (январь-август)										
Коренной ельник	3	3.3	12.0	0.2	0	103	49	0	1018.8	570.6
	20	4.2	11.1	0.4	0	101	35	0	939.4	398.7
	50	4.0	10.4	0.8	0	98	24	0	882.2	298.5
Молодняк	3	отс.*								
первого класса	20	отс.*								
возраста	50	отс.*								
Средневозрастн	3	4.4	12.0	-0.1	40	109	47	-2.5	1058.8	546.7
ое лиственно-	20	4.3	11.7	0.1	1	102	43	0.0	972.5	488.4
хвойное насаждение	50	отс.*								

Примечание: отс.* – данные отсутствуют.

снежного покрова (Буренина и др., 2013). Для темнохвойных насаждений характерно неравномерное распределение снежного покрова под кронами. В приствольных кругах плотность снежного покрова минимальна, а в межкроновых пространствах наоборот повышенные значения вследствие осыпания снега, задержанного кронами, в то время как в березняках большая часть твердых осадков

поступает на поверхность почв в осенний период, выступая хорошим теплоизолятором. В целом, в еловом лесу мощность снега на 15-43 % меньше, чем на вырубках, поэтому основной причиной большего промерзания почв в лесу по сравнению со сплошной концентрированной вырубкой следует считать меньшую мощность снега (Орфанитский, Орфанитская, 1971). Это является причиной более глубокого промерзания почв в ельниках, где к началу снеготаяния высота снежного покрова в среднем на 10 см меньше, чем во вторичных березняках.

Существенное воздействие на температуру почв оказывает солнечная радиация. В подзоне средней тайги на поверхность почв поступает 4.6-5.0 МДж $м^{-2}$ солнечной энергии, что составляет около 16-19 % от общего количества ФАР (Галенко, 1983). При сведении леса почвы испытывают тепловой удар, при этом теплоаккумуляция увеличивается примерно на 1.5 МДж $м^{-2}$ (Куликов и др., 1995).

Если рассматривать среднесуточную температуру выше +5°С, которая по (Бобкова, 1987) определяет активность роста сосущих корней древесных растений, то в лесной подстилке коренного ельника длительность периода составляет 130-137, в почве 2УК – 125-148, а в подстилке средневозрастного лиственно-хвойного насаждения – 138-159 суток.

Таблица 4.11. Начало периодов со среднесуточной температурой выше +5 °С в почвах коренного ельника (1-УК) и разновозрастных лиственно-хвойных насаждений, сформировавшихся после рубок 2001-2002 (2УК) и 1969-1970 гг. (3УК).

Год	Дата появления температур > +5 °С в подстилке			Дата появления температур > +5 °С на глубине 50 см.		
	Коренной ельник	Молодняк первого класса возраста	Средневозрастное лиственно-хвойное насаждение	Коренной ельник	Молодняк первого класса возраста	Средневозрастное лиственно-хвойное насаждение
2009	14.05	14.05	25.05	16.06	16.06	30.05
2010	11.05	11.05	10.05	22.06	22.06	13.05
2011	18.05	19.05	17.05	28.06	27.06	25.05
2012	12.05	13.05	12.05	отс.*	12.06	20.05
2013	отс.*	отс.*	23.05	отс.*	отс.*	2.06
2014	19.05	отс.*	14.05	22.05	отс.*	отс.*

Примечание: отс.* – данные отсутствуют.

Почвы вырубок теплее, по сравнению с почвой коренного леса. При этом после холодных зим 2010 и 2011 гг. среднесуточная температура выше +5 °С в подстилке

коренного ельника появляется 11.05 и 18.05, а в 2009 и 2012 гг., когда зима была не слишком холодной, температура подстилки выше +5 °С была зарегистрирована с 14.05 и с 12.05 соответственно (табл. 4.11). В подстилках почв вторичных фитоценозов период начинается на 1-5 дней раньше, чем на участке коренного ельника. В подстилке молодняка в годы с холодной зимой (2010 и 2011 гг.) температура выше +5°С появляется 11.05 и 19.05, а в подстилке средневозрастного лиственно-хвойного насаждения температура выше +5°С зафиксирована с 10.05 и 17.05. В годы с более теплой зимой в молодняке первого класса возраста температура выше +5°С начинается с 13.05-14.05, а на ЗУК с 12.05-25.05.

Среднесуточная температура со значениями более +5 °С на глубине 50 см составляют 121-128, 120-133 и 143-155 суток в коренном ельнике, молодняке и средневозрастном лиственно-хвойного насаждении соответственно. Почвы на участках 2УК и 3УК прогреваются на большую глубину и более теплообеспечены. Сравнивая участки коренного ельника и молодой вырубки, по времени установления температуры со значениями более +5 °С на глубине 50 см, видно, что различия незначительны, так в 2009 и 2010 гг. период прогрева почв на глубине 50 см выше +5 °С начинался 16.06 и 22.06, а в 2011 г. период с температурой выше + 5 °С на глубине 50 см в почве ЗУК фиксировался на день раньше – 27.06.

Почва средневозрастного лиственно-хвойного насаждения теплее остальных участков, что прослеживается по всем анализируемым показателям. Самое позднее появление температур выше +5 °С на глубине 50 см на ЗУК было зафиксировано 02.06 в 2013 г, а самое раннее – 13.05 в 2010 г.. В 2011 и 2012 гг. начало периода выше +5 °С зафиксировано с 25.05 и 20.05, что намного раньше, чем на остальных участках.

С конца мая наблюдается плавное прогревание почв, это в целом, закономерно для всех исследуемых участков (рис. 4.5). Максимальная температура в органогенных горизонтах на глубине 3 см приходилась на конец июля – начало августа. На глубине 50 см почвы вторичных фитоценозов прогревались значительно сильнее, особенно это заметно в средневозрастном лиственно-хвойном насаждении, где почва прогревалась до 12-14 °С (рис. 4.6В), в то время как на участке коренного ельника и молодняка первого класса возраста температура была 10-12 °С (рис. 4.6Б).

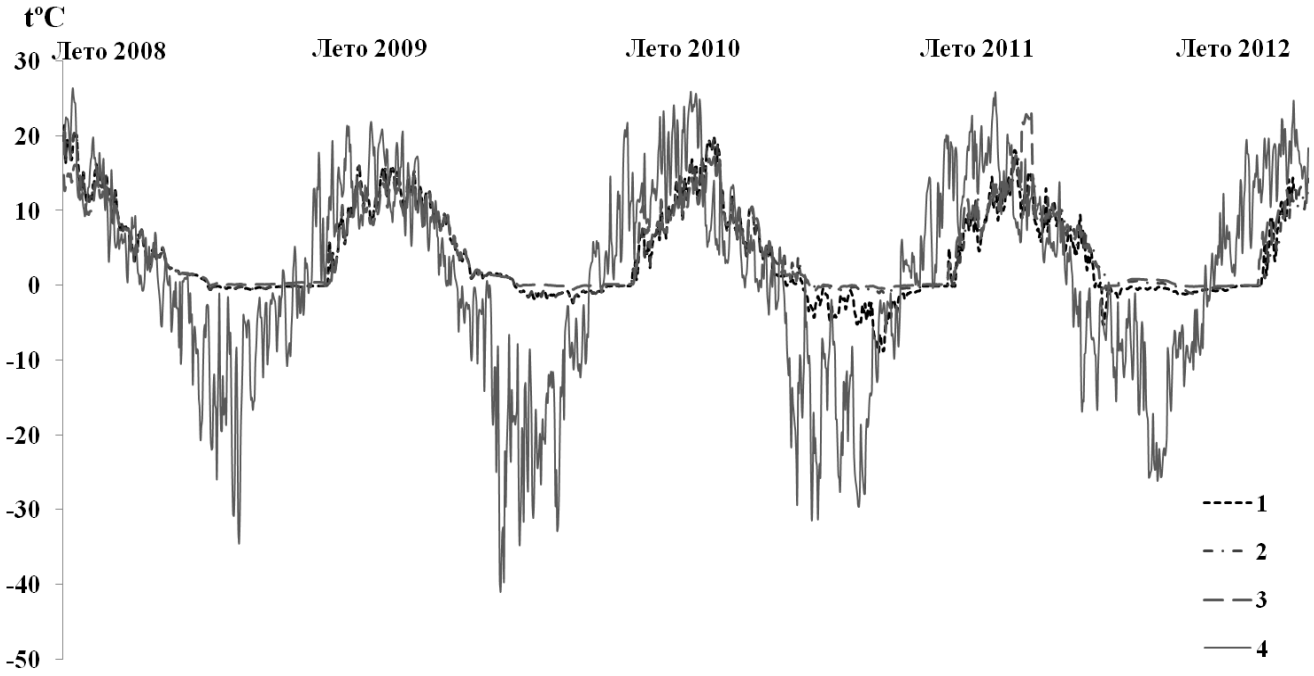


Рисунок 4.5. Динамика температуры лесных подстилок в почвах коренного ельника (1) и разновозрастных лиственно-хвойных насаждениях 2УК (2), 3УК (3) и воздуха (4).

На участке молодняка первого класса возраста (2УК) снеготаяние начинается раньше, в результате чего сокращается период с отрицательной температурой почвы. Активные температуры (выше +10 °С) начинают проникать глубже, а период с этими температурами становится дольше. В качестве основных критериев оценки теплообеспеченности почв принята сумма температур выше +10 °С на глубине 20 см (Димо, 1972). В коренном ельнике продолжительность периода с значения температуры выше +10 °С на глубине 20 см варьировала от 1 в 2009 до 18 суток в 2010 гг. (табл. 4.10). Сумма данных температур за 2010 гг. равна 201 °С. На участке молодняка (2УК) в 2009 г. температура выше +10 °С зафиксирована в течение 15 суток, что намного больше, чем в коренном ельнике. В 2010 г. температура выше +10 °С на глубине 20 см встречалась в течение 22 суток, а в 2011 г. – 14 суток. Сумма температур варьировала от 145 до 250 °С. Несколько иная ситуация на участке средневозрастного лиственно-хвойного насаждения. Данные о температуре выше +10 °С на глубине 20 см не были получены (в связи с поломкой датчика), за исключением 2013 и 2014 гг., в которых температура выше +10 °С была зарегистрирована на протяжении 76 и 43 суток, с суммой этих температур 932 и 488 °С, соответственно. Периоды с температурой выше +10 °С на глубине 50 см в почве средневозрастного лиственно-хвойного насаждения изменялись от 31 до 62 суток, причем самые

большие значения 50 и 62 приходятся на годы с самой холодной зимой, но очень жарким летом. Суммы температур изменялись от 321 до 701°С.

Динамика изменений температуры почв повторяет изменение температуры воздуха (Шеин, 2005), но с отставанием температурной волны по глубине и изменением ее амплитуды (рис. 4.4). Температура в подстилках играет ведущую роль в регулировании эмиссии CO_2 с поверхности лесных почв (Карелин и др., 2014). Следует отметить, что отличия в температурных параметрах органогенных горизонтов исследуемых участков наиболее четко прослеживаются при оценке суточной динамики температуры, при этом при анализе среднесуточной температуры, различия проявляются менее выражено. В качестве примера, на рисунке 4 приведены суточные амплитуды температуры в подстилках в различные, наиболее представительные периоды сезонов года.

В весенний период (рис. 4.6А), при появлении устойчивой положительной температуры, максимальные амплитуды зарегистрированы в подстилках молодняка, минимальные на участке средневозрастного лиственно-хвойного насаждения.

В летний период года максимальные амплитуды, также зафиксированы на участке молодняка (рис. 4.6Б), где древесный ярус только формируется, минимальные амплитуды отмечены в средневозрастном лиственно-хвойном насаждении, древостой которого отличается высокой плотностью и значительным количеством подроста (Дымов и др., 2012а).

Выявлено, что осенью, при появлении отрицательной температуры воздуха, почва на участке коренного ельника остывает гораздо быстрее, чем на участках вторичных фитоценозов (рис. 4.6В). В холодный период с устойчивым снежным покровом, в течение суток температура в подстилках практически не изменяется. Но при этом, на участке коренного ельника, изменение температуры в подстилке в течение недели достигало 5 °С (рис. 4.6Г).

Можно предположить, что именно высокие значения суточных амплитуд, совместно с активизацией процессов заболачивания приводит к снижению численности эколого-трофических групп микроорганизмов и функциональной активности микробиоты на молодых вырубках (Виноградова и др., 2014).

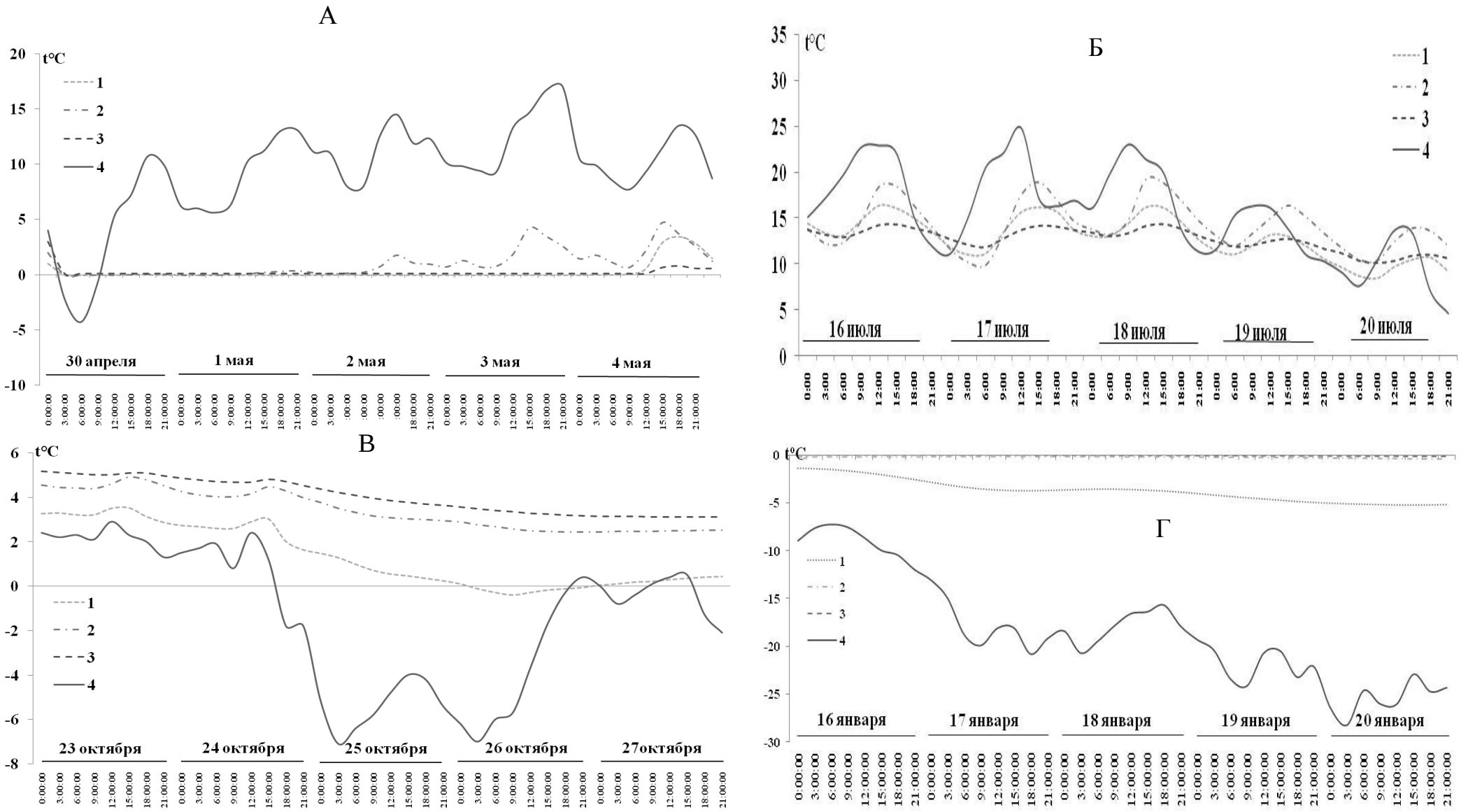


Рисунок 4.6. Динамика температуры воздуха (4) и лесных подстилок в подзолистых почвах ельника черничного (1) и разновозрастных лиственно-хвойных насаждениях, сформировавшихся на вырубках 2001-2002 гг. (2) и 1969-1970 гг. (3). А – в период с 00.00 часов 30 апреля по 21.00 час 4 мая 2010 года; Б – в период с 00.00 часов 16 июня по 21.00 час 20 июня 2009 года; В – в период с 00.00 часов 23 октября 2011 по 21.00 час 27 октября 2011 года; Г– в период с 00.00 часов 16 января по 21.00 час 20 января 2011 года.

Подводя итог по температурным свойствам почв, можно отметить, что рубки главного пользования и сукцессионная смена растительности на вырубках оказывают существенное влияние на температурный режим подзолистых почв средней тайги. На температурные характеристики почв существенное влияние оказывает тип лесной растительности. При сравнении среднесуточных температур наиболее холодными оказались почвы коренного ельника (1УК), а наиболее теплыми – лиственно-хвойного насаждения (3УК). За период наблюдения в коренном ельнике отрицательная температура прослеживалась, в основном, в подстилке. Минимальная среднесуточная температура в подстилках опускалась до -8.8°С. Максимальная температура на глубине 20 см составила +12°С, а на глубине 50 см – +11°С. Периоды с отрицательной среднесуточной температурой на участке коренного леса варьировали от 166 до 191 суток, в молодняке (2УК) – от 136 до 157, в средневозрастном лиственно-хвойном насаждении (3УК) – от 10 до 133 суток. Показано, что почвы вторичных фитоценозов теплее по сравнению с почвой коренного елового леса. Периоды с температурой выше +5 °С, которая определяет активность роста сосущих корней древесных растений в лесной подстилке, на участке коренного леса длился максимум 137 суток, в молодняке первого класса возраста (2УК) – до 148, а в средневозрастном лиственно-хвойном насаждении (3УК) – до 159 суток. На глубине 50 см период данных температур в коренном ельнике достигали 128 суток, на молодой вырубке длительность периода достигала 133 суток, а на участке средневозрастного лиственно-хвойного насаждения – 155 суток. Сумма активных температур (выше +10 °С) в коренном ельнике составляет 201 °С, на участке молодняка первого класса возраста сумма температур варьировала от 145 до 250 °С, на участке средневозрастного лиственно-хвойного насаждения суммы активных температур изменялись от 321 до 761 °С. Максимальные суточные амплитуды в теплый период года зафиксированы на участке (2УК), минимальные выявлены в средневозрастном лиственно-хвойном насаждении (3УК). В холодный период максимальные амплитуды в подстилке зафиксированы на участке коренного ельника, а минимальные отмечены на участках вырубок, которые практически не различаются. Подстилка коренного ельника остывает быстрее, чем во вторичных фитоценозах.

4.2.4. Химический состав вод малых рек

Состав вод в значительной степени определяется биологическим круговоротом (Богатырев и др, 1999; Богатырев, 2015), что подтверждается положением Полынова о ведущей роли живых организмов в формировании вод (Василевская, Богатырев, 1999). Одним из основных антропогенных факторов, изменяющих таежные экосистемы, является рубка лесов. Сведение лесной растительности способствует перераспределению внутригодового стока таежных рек (Водогрецкий, 1990; Гавриков, 1992), в первые годы после рубки леса наблюдается увеличение годового стока на 40-60 % (Марунич, Федоров, 1986), выявлено увеличение твердого стока, возрастание содержание ряда биофильных элементов в крупных и средних реках, способствующих активизации первоначальных признаков эвтрофикации (Трансформация…, 1997; Экосистемы …, 2006; Прыткова, 2011). Изменения в биогеохимических циклах элементов будут влиять на экологическое состояние водных объектов. В первую очередь, влиянию лесозаготовительной деятельности и последующей смены растительности подвергаются небольшие лесные реки и ручьи, для которых обычно не выделяют водоохранные зоны.

Для оценки влияния вырубок на химический состав, было проведено изучение химического состава малых лесных рек, характеризующих водосборную территорию коренного ельника черничного (1УК) и производного лиственно-хвойного леса – 3УК (Дымов, 2013).

Оценку химического состава водотоков осуществляли на участках 1УК и 3УК в течение 2009-2011 гг. Анализировали химический состав двух малых лесных рек: р. Ыба (правый приток р. Вычегда), характеризующей водосборную территорию элементарного бассейна коренного елового леса (1УК); р. Изъяель (приток третьего порядка р. Вычегда), характеризующей водосборный бассейн лиственно-хвойного леса (3УК).

Проведение сплошнолесосечных рубок оказывает значительное влияние на экосистемы. При рубке древостоя происходит удаление основных эдификаторов древесного яруса, что способствует трансформации биохимического круговорота элементов. Роль эдификаторов до смыкания крон древесных растений переходит к растениям напочвенного покрова. Постепенно, по мере возобновления

растительности, наблюдается увеличение поступления на поверхность почв быстроминерализуемого растительного опада лиственных деревьев, характеризуемого отличным от исходного химическим составом. После рубки происходит изменение климатических условий – изменяется освещенность, температура почв (Дымов, Старцев, 2016) и приземного воздуха, происходит изменение уровня снежного покрова. В таежной зоне характерно проявление процессов заболачивания, проявление которого ослабевает к 30-40 летним вторичным древостоям. В зависимости от ландшафтных условий изменяется интенсивность проявления гидроморфизма. Переувлажнение почв существенно способствует нивелированию морфологических отличий, определяемых парцеллярным влиянием в лесных экосистемах (Экосистемы…, 2006). При рубке леса происходит внесение дополнительного органического материала в виде различных порубочных остатков (кроны, ветви, пни), являющихся мощными и длительными источниками поступления индивидуальных органических соединений в почвы. Таким образом, можно предположить, что рубка древостоя и последующая послерубочная сукцессия способствуют изменению биогеохимических циклов большинства химических элементов, что в свою очередь не может не отражаться на составе вод близлежащих водотоков.

Химический анализ вод рек коренного ельника (1УК) и средневозрастного лиственно-хвойного леса (2УК), позволил отнести их к гидрокарбонатно-кальциевой группе природных вод

Таблица 4.12. Химический состав исследуемых водотоков

Место отбора	Дата отбора	pH	æ*, мкСм м$^{-1}$	Собщ.			HCO_3^-	SO_4^{2-}	Ca	Mg	Na	K	Fe	Al	Mn
				Свос	Свнс	Свс									
				мг дм$^{-3}$										мкг дм$^{-3}$	
р. Ыба	12. 2009	5.9±0.1	30±3	не опр.	не опр.	4.1±1.2	10.0±2.3	3.3±0.8	2.2±0.4	0.93±0.14	1.03±0.15	0.35±0.08	0.102±0.024	130±30	0.92**
р. Изъяель		7.6±0.1	206±10	не опр.	не опр.	4.8±1.3	196±3	6.0±0.8	45±7	11.4±1.7	3.3±0.5	0.66±0.16	0.023**	23±7	0.34**
р. Ыба	06. 2010	5.6±0.1	18.5±1.8	не опр.	не опр.	11.8±2.4	4**	2.7±0.8	1.55±0.25	0.62±0.09	0.81±0.2	0.30±0.07	0.30±0.07	550±90	8.9±2.9
р. Изъяель		6.7±0.1	42±4	не опр.	не опр.	18±4	22.9±2.4	2.6±0.8	6.5±1.0	1.65±0.25	1.02±0.15	0.29±0.07	0.39±0.09	540±90	4.6±1.5
р. Ыба	06. 2011	7.4±0.1	18.9±1.9	7.9±1.6	1.8±0.4	9.7±1.9	6*	3.1±0.8	1.63±0.26	0.67±0.1	0.75±0.18	0.091±0.02	0.12±0.03	210±50	5.7±1.8
р. Изъяель		8.7±0.1	121±12	3.9±0.8	30±6	34±7	107±3	4.8±0.8	23±4	5.6±0.8	1.89±0.28	0.25±0.06	0.2±0.05	200±50	9.1±2.9
р. Ыба	11. 2011	7.0±0.1	27.6±2.8	4.5±0.5	1.6±0.19	6.0±0.7	10.2±2.4	3.0±0.8	2.0±0.3	0.78±0.12	1.11±0.17	0.31±0.07	0.14±0.03	210±50	14±4
р. Изъяель		7.9±0.1	232±12	3.4±0.4	34±4	37±4	165±3	5.4±0.8	39±6	9.2±1.4	3.0±0.5	0.61±0.15	0.029*	25±8	18±6

* æ – электропроводность; ** – ниже предела обнаружения; Свос – углерод органических соединений, Свнс – неорганический углерод; Свс – общий углерод; не опр. – не определяли.

(Алекин…, 1953). Для химического состава вод выявлена сезонность. Воды, отобранные в позднеосенний период, более богаты практически всеми химическими элементами, за исключением железа, алюминия и марганца. Воды р. Ыба (1УК) более кислые. Воды р. Изъяель характеризуются более высокой электропроводностью, повышенными концентрациями магния, кальция, натрия, калия, гидрокарбонат и сульфат ионов. Основные отличия между химическим составом водотоков прослеживаются в осенний период. В водах р. Изъяель (1УК) в осенний период выявлено увеличение карбонат ионов, кальция, магния и электропроводности. Содержание алюминия и железа в наибольшей степени зависят от времени отбора. Содержание железа и алюминия в раннелетний период достаточно высоки, при этом они близки для сравниваемых водотоков. Воды, позднеосеннего периода, производного леса характеризуются существенно меньшим содержанием, как железа, так и алюминия.

Наибольшие отличия по содержанию различных форм углерода проявляются в раннелетний период отбора – выявлено увеличение концентрации в водах р. Изъяель, при этом увеличение происходит преимущественно за счет неорганических форм углерода. Растворенные формы органического углерода преобладают в водах коренного ельника.

При рубке происходит залповое поступление порубочных остатков. В процессе дальнейшей сукцессии растительности в биогеохимический цикл вовлекается качественно иной опад лиственных растений. Это приводит к возрастанию содержания активных органических соединений почв, происходит усиление химической «агрессивности», увеличение концентраций гидрофильных полярных групп органических соединений (Дымов и др., 2012б; Дымов, Милановский, 2014), способных вступать в реакции комплексообразования, и выноситься в виде органоминеральных соединений в геохимически подчиненные водотоки.

Вероятно, изменение геохимической активности органического вещества на фоне проявления гидроморфизма на вырубках будет одним из основных факторов, влияющих на химический состав водотоков. При достаточно близком составе почвообразующих пород исследуемых лесов, вероятно, что различия в химическом

составе водотоков в определенной степени определяются послерубочной сукцессией и изменением в биогеохимических циклах отдельных элементов (Futter et al., 2010). Полученные нами результаты согласуются с данными Арчеговой и Кузнецовой (2011), показавшими возрастание концентраций органического вещества, калия, кальция в почвенных лизиметрических водах среднетаежных биогеоценозов в осенний период. Вероятно, содержание органических соединений в значительной степени определяется микробиологической активностью в верхних горизонтах почв. Поскольку, поздней осенью происходит снижение микробиологической активности, благодаря чему из верхних горизонтов почв могут вымываться химически активные, индивидуальные органические соединения (Фокин, Журавлева, 2009), которые будут вступать в реакцию комплексообразования с ионными формами металлов и изменять химический состав вод.

Таким образом, исследование химического состава малых таежных рек показало, что наибольшие отличия в химическом составе вод рек, характеризующих водосборную территорию коренного елового леса и производного лиственно-хвойного, проявляются в осенний период. Воды лесной реки производного леса, содержат большее количество гидрокарбонат и сульфат ионов, кальция, магния, натрия и железа. Воды реки, характеризующей водосборную территорию коренного ельника, более кислые, в них меньше электропроводность. Для соединений железа и алюминия наблюдаются близкие между сравниваемыми участками концентрации в раннелетний период, и резкое уменьшение элементов в позднее осенний период в водах производного лиственно-хвойного леса. Полученные результаты в значительной степени коррелируют с данными по изменению химического состава растительного опада на сравниваемых участках. Вероятно, исследования влияния лесохозяйственных мероприятий на химический состав водотоков необходимо существенно углублять, перенимая опыт составления гидрологических карт на отведенные в рубку лесных ландшафтов (Suvinen, 2006; Suvinen et al., 2009; Agren, 2014; Oni et al., 2015)

4.3 Почвы пасечных участков

4.3.1 Морфологические свойства почв

Изменение свойств почв на вырубках в ходе естественного лесовозобновления, за исключением случаев прямого механического воздействия и подготовки почв для искусственного возобновления леса, происходит через изменение водного, температурного режимов, смены растений напочвенного покрова и характера возобновления древесной растительности. В целом, морфологически диагностируемые изменения проявляется на глубине до 30 см.

Анализ данных показал, что активизация основных элементарных почвообразовательных процессов (ЭПП) (таблица 4.14) на пасечных участках вырубок определяют изменения параметров водного режима и освещенности/температуры. Интенсивность проявления отдельных элементарных почвообразовательных процессов зависит в первую очередь, от типа леса, состава растений напочвенного покрова и древесного яруса, типа и гранулометрического состава почв, климатических условий зоны.

Таблица 4.14. Интенсивность элементарных почвообразовательных процессов в почвах на вырубках (по: Дымов, 2017).

Гранулометрический состав почв (характеристика увлажнения)	Почвообразовательный процесс, интенсивность	Исходный тип леса	Автор
Пески, супеси (автоморфные)	g – ↓, мп – ↑	С. лишайниковый	Верхоланцева, 1962; Телеснина, Шахин, 1999; Панов и др., 2012
		Е. черничный	Морозова, 1964
	g – ↑, ау – ↑	Е. черничный	Путеводитель…, 2005
Пески на двучленных отложениях (подстилаемые суглинистыми породами, а так	g – ↑, ау – ↑	Е. черничный свежий	Орфанитский, Орфанитская, 1971; Варфоломеев, 1964; Кощеев, 1955; Дымов, 2007
	g – ↑↑, рп – ↑↑, nn – ↑	С. бруснично-зеленомошный	

же песчаные отложения с затрудненным дренажем)	g – ↑↑, рп – ↑↑	С. черничный, С. сфагновый	Кощеев, 1955
Суглинистые отложения, в том числе высокощебнистые (склоны, хороший дренаж)	мп – ↑↑, hi –↑	П. разнотравный	Луценко и др. , 2006
	g – ↑, мп – ↑	Е. травяно-липняковый	Дедков и др., 1987
	мп – ↑, hi – ↑	Е. липняковый	Новгородова, Поздеев, 2009
	g – ↑, hi –↑, nn – ↑	Е. черничный	Путеводитель…, 2007
Суглинистые отложения	ау – ↑, hi – ↑	П. мелкотравно-зеленомошный	Трефилова, Ефимов, 2015
	ау – ↑	Е. черничный (южная тайга)	Сухарева, 1957
	ау – ↑, g – ↑	Е. кисличный (Липо-ельник кисличный, южная тайга)	Матвеев, 2011
Суглинистые отложения с льдистой мерзлотой	g – ↑↑, hi – ↑, рп – ↑↑	Е. черничный (средняя и северная тайга)	Чертовской, 1963, Втюрин, 1991, Трансформация..., 1997
	мдс – ↑	Л. (разнотравный, брусничный)	Краснощеков, Сорокин, 1988; Куликов и др., 1995; Федоров и др., 2013.

Обозначения: g – оглеение; hi – иллювиирование органического вещества в верхние минеральные горизонты; nn – конкрециообразование; ау – образование дернового горизонта; мп – минерализация постилки; рп – рост подстилки; мдс – мощность деятельного слоя. ↑ – возрастание интенсивности процесса (↑↑ – сильное возрастание), ↓ – уменьшение интенсивности процесса. Е. – ельник, С. – сосняк, П. – пихтарник, Л. – лиственничник.

Необходимо отметить, что помимо исходного типа леса и эдафических условий, существенное влияние на сукцессию растений напочвенного покрова оказывают изменения микроклиматических условий и водного режима. Исходя из существующей для европейского Севера классификации типов вырубок (Мелехов, 1980; Чертовской, 1963; Крышень, 2006), полагаем, что по наиболее общему фактору воздействия среды в ходе послерубочного возобновления леса, все типы вырубок можно подразделить на несколько групп с близким особенностями

воздействия на почвы: заболачивание (воздействие происходит вследствие возрастания влаголюбивых растений – сфагнумов, политриховых мхов и др.); развитие дернового процесса (характерно для вырубок с доминированием злаковых растений – луговиковые, вейниковые типы вырубок); в отдельную группу следует отнести лишайниковый тип вырубки (Мелехов, 1980). Таким образом, в первой группе происходит активизация процессов оглеения и накопления подстилки, преимущественно за счет долгомошных и сфагновых мхов, и уменьшение микробиологической активности в насыщенных влагой верхних почвенных горизонтах. Для второй группы вырубок, так же характерно возрастание запасов влаги в верхних горизонтах, но оно обычно выражено в меньшей степени, позволяет развиваться разнотравной растительности и активизировать дерновый процесс. При этом можно ожидать как возрастания мощности постилки в первые годы на участках с затрудненным дренажем, так и наоборот, уменьшения мощности постилки в почвах на склонах, а также на песчаных почвах. Активизации элементарных почвообразовательных процессов в лишайниковых типах вырубок выражается в возрастании минерализации маломощной подстилки. Для некоторых почв, развитых на суглинистых отложениях, наблюдается возрастание потечности органического вещества, диагностируемой по потемнению верхних минеральных горизонтов и увеличению в них содержания общего углерода. Выраженность прокраски подвижным органическим веществом в зональном плане возрастает с увеличением гумидности климата.

Особую специфику приобретают последствия рубок на почвах с близким подстиланием многолетнемерзлыми породами (таблица 4.14), поскольку для них характерно увеличение глубины проникновения активных температур, увеличение мощности деятельного слоя (Куликов и др., 1995; Федоров и др., 2013). Схожие закономерности были выявлены и в горах Монголии (Краснощеков, Сорокин, 1988). В отсутствии возможностей удаления избытка влаги, сформированной при таянии многолетнемерзлых пород, также характерно развитие процессов оглеения. Особые условия создаются в горных почвах, в условиях хорошего дренажа, существенно активизируется вынос влаги латеральным стоком. В них процесс оглеения выражен в значительно меньшей степени (Дедов и др., 1987) или не выражен вовсе (Новгородова, Поздеев, 2009).

В некоторых случаях рубки приводят к формированию существенного переуплотнения иллювиального горизонта в подзолистых почвах после палов на вырубках (личные наблюдения автора в Удорском районе РК), что, вероятно, определяется поступлением пирогенных компонентов прочно связывающих минеральные частицы (Doerr et al., 2000; Dymov et al., 2017).

Особую роль в биогеоценозах выполняют лесные подстилки. В отличие от минеральных горизонтов, сроки их возможного изменения, под влиянием различных факторов, существенно короче. Лесные подстилки в значительной степени отражают современный тип биогеоценоза и характер увлажнения (Богатырев, 1996). Мощность подстилок чутко реагирует на изменение микроклиматических условий и основных эдификаторов древесной растительности (Ponge, 2003; Богатырев и др., 2004; Nave et al., 2010). В ходе рубки леса и последующего лесовозобновления происходит существенная трансформация количества и состава древесного опада, поступающего на поверхность почв (Дымов и др., 2012а). В первые годы после рубки роль эдификатора выполняют растения напочвенного покрова. На доминирование в составе напочвенного покрова оказывают влияние несколько факторов, ведущими из которых является изменение освещенности и развитие процессов заболачивания. Многие светолюбивые виды растений напочвенного покрова, увеличивают свое присутствие и выходят в доминанты (Крышень, 2006), трансформируя качественный и количественный состав растительного опада. Для почв с затрудненным дренажем характерно формирование долгомошной стадии (Дмитриев, 1950; Чертовской, 1963).

Таким образом, для послерубочных сукцессий характерно развитие наложенной эволюции подстилочных горизонтов (Богатырев и др., 2004) и формирование, специфичных подгоризонтов подстилок, отражающих смены доминантов растений напочвенного покрова и древесного яруса, а так же стадии заболачивания. Кроме этого, временное развитие процессов заболачивания способствует частичному сохранению подстилок предыдущих растительных формаций. Наиболее показательной является изменение мощности лесных подстилок в первое десятилетие после рубки (рис. 4.8), поскольку в значительной степени является отражением процессов происходящих в лесных фитоценозах. Так,

для подзолов, развитых под сосняками лишайниковыми, характерно некоторое уменьшение мощности подстилок (Верхоланцева, 1962). Схожие закономерности выявлены и для вырубок ельников черничных, формирующихся на песчаных подзолах в условиях Карелии (Морозова, 1964) (рис. 4.8). В почвах, развитых на суглинистых отложениях, в условиях хорошо расчлененного среднетаежного рельефа (Тиманская возвышенность), характерно незначительное, временное возрастание мощности подстилок (Дымов и др., 2012б; Путеводитель…, 2007). Увеличение мощности подстилок наиболее характерно для водораздельных пространств Русской равнины и определяется избытком влаги в почвах, вследствие уменьшения транспирации древесными породами. Наиболее наглядно проявляется в сосняках бруснично-зеленомошных, черничных и сфагновых, формирующихся на почвах с двучленным строением (пески и супеси подстилаемые суглинистыми отложениями) на территории Ленинградской (Кощеев, 1955), Архангельской областей (Чертовской, 1963) и Республики Коми (Дымов, 2007). Возрастание мощности постилок в таких условиях происходит преимущественно за счет активизации роста и последующего отпада кукушкиного льна и сфагновых мхов. Достаточно детально показано, что ежегодный урожай кукушкиного льна на вырубках (в воздушно-сухом состоянии) – может достигать 5 т га$^{-1}$, сфагнума – до 4 т га$^{-1}$ (Дмитирев, 1950; Кощеев, 1955), и уже на шестилетней вырубке наблюдается трехкратное возрастание зеленой массы мхов по сравнению с контрольным ельником черничным (Чертовской, 1963). Можно предположить, что такие подстилки будут играть важную роль в депонировании углерода. При последующем возобновлении древесной растительности на вырубках происходит угнетение и отмирание мхов, с последующим вовлечением их в состав подстилок (рис. 4.9). Изменение подстилок на пасечных участках согласно классификации Богатырева с соавт. (2004) вероятно следует отнести к наложенной эволюции. Возрастание мощности подстилок сопровождается возрастанием влажности, развитием процессов оглеения, увеличением 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. Для

автоморфных суглинистых почв характерно возрастание подвижности почвенного органического вещества, формирование новых органоминеральных комплексов (Дымов, Милановский, 2014).

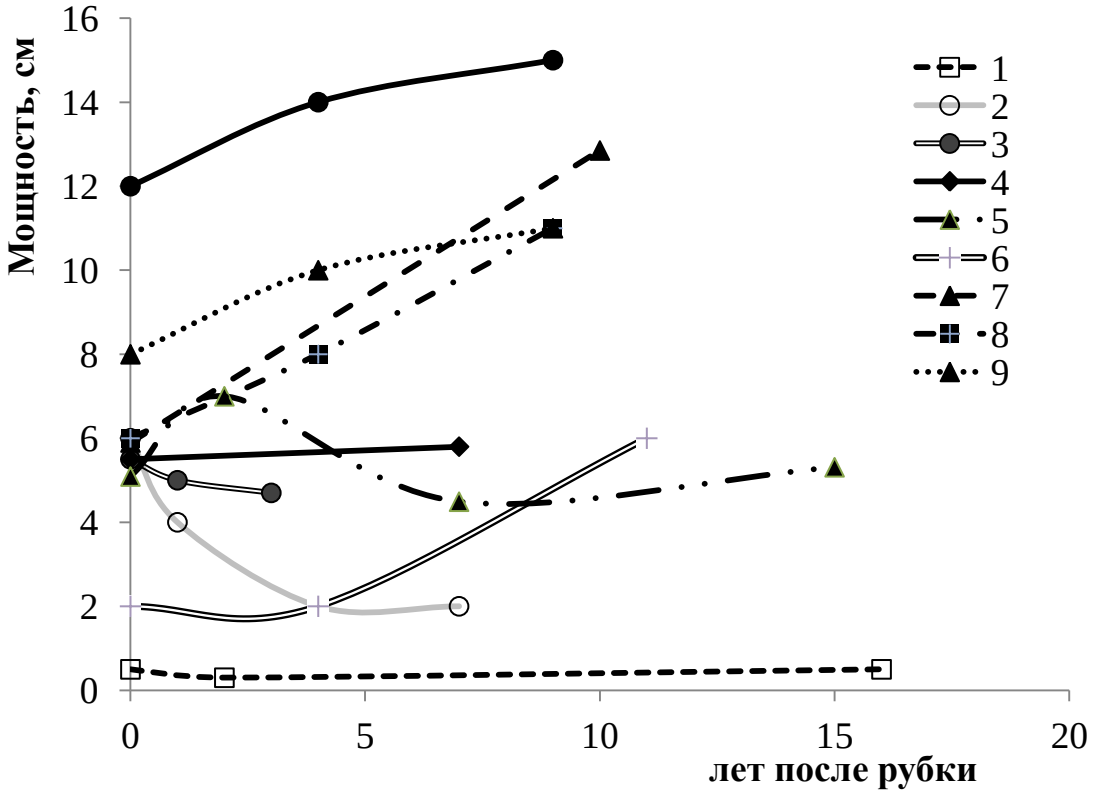


Рисунок 4.8. Изменение мощности подстилок на вырубках в различных типах леса при естественном лесовозобновлении. Обозначения: 1 – сосняк лишайниковый / подзол иллювиально-железистый, Коми (Верхоланцева, 1962); 2 – ельник черничный / подзол иллювиально-железистый, Карелия (Морозова, 1964); 3 – ельник черничный, дерново-подзолистая, Кировская область (Орфанитский, Орфанитская, 1971); 4 – ельник черничный / подзолистая, Коми, Тиман (Лаптева и др., 2015; Путеводитель.., 2007); 5 – ельник черничный / подзол на двучленных отложениях, Архангельская обл. (Орфанитский, Орфанитская, 1971); 6 – пихтарник мелкотравно-зеленомошный / дерново-подзолистая, Красноярский край (Трефилова, Ефимов, 2015); 7 – сосняк бруснично-зеленомошный / подзол на двучленных отложениях, Коми (Дымов, 2007); 8 – сосняк брусничный / подзол на двучленных отложения, Ленинградская обл. (Кощеев, 1955); 9 – сосняк черничный / торфяно-подзолисто-глеевая на песках, Ленинградская обл. (Кощеев, 1955); 10 – сосняк сфагновый / торфяно-подзолисто-глееватая на песках, Ленинградская обл. (Кощеев, 1955).

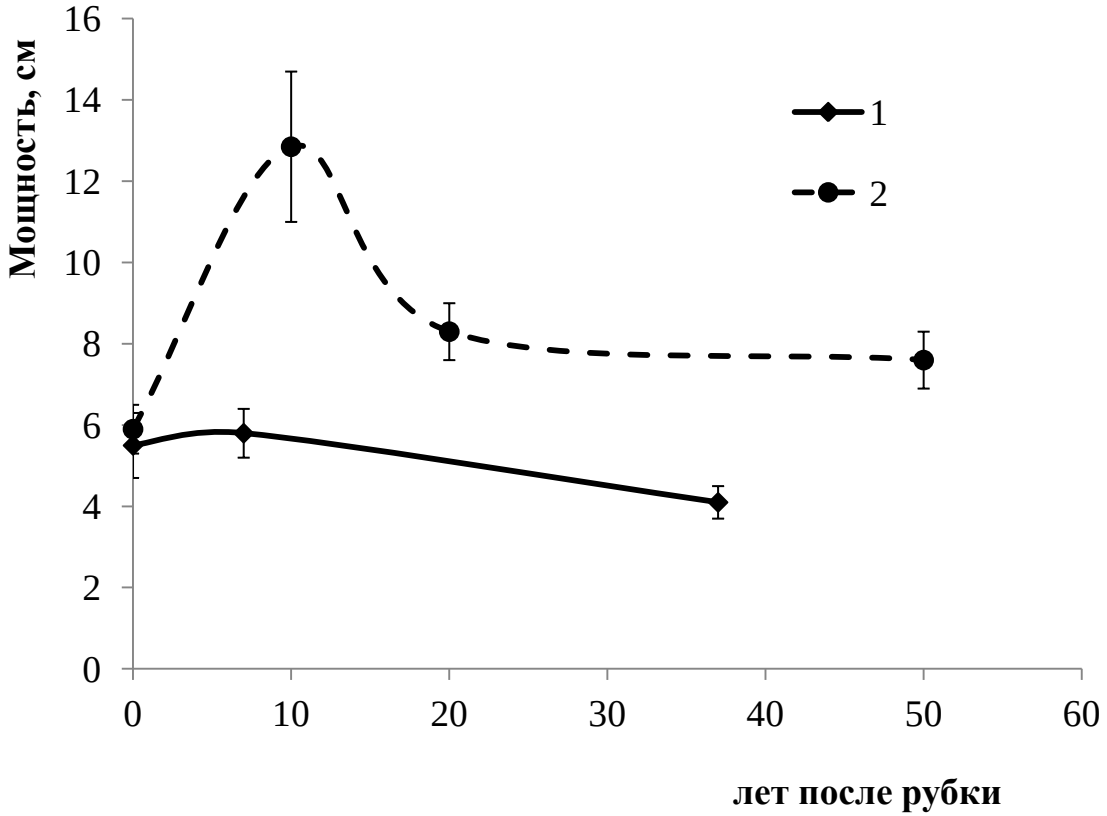


Рисунок 4.9. Изменение мощности лесных подстилок при естественном лесовозобновлении в ельниках черничных (1) на подзолистых почвах (Дымов и др., 2012а; Лаптева и др., 2015) и сосняках бруснично-зеленомошных (2) на подзолах на двучленных отложениях (Дымов, 2007).

Необходимо отметить, что ослабление активизации рассматриваемых процессов происходит при формировании молодого леса на вырубке, на стадии смыкании крон деревьев. По истечении 40-50 лет в условиях средней тайги происходит возвращение к близкому квазиисходному морфологическому строению почвы, в том числе, возвращение к близкому к исходному состоянию мощности лесной подстилки (рис. 4.9). Но при этом, даже по истечении более полувека (Дымов, 2007; Путеводитель…, 2015), а иногда и до 120 лет (Исаченкова, 2007), формирования вторичного леса почвы сохраняют морфологические признаки в виде высокой доли конкреций, следов оглеения и потечности гумуса в верхних горизонтах. Активизация элементарных почвообразовательных процессов в почвах в ходе послерубочных сукцессий характеризуется определенной динамикой. В отдельные этапы сукцессий наблюдается интенсификация торфонакопления, деградации подстилок, снижение кислотности, процессов оглеения, сегрегации железа, обогащения верхних горизонтов органическим веществом (табл. 4.15).

4.3.2. Физико-химические свойства почв

После сплошнолесосечных рубок хвойных древостоев возобновление растительности происходит через смену пород, изменение доминантов растений напочвенного покрова, что способствует изменению качественного и количественного состава растительного опада, поступающего на поверхность почв, а так же морфологических свойств подстилок. До момента смыкания крон древесных растений лидирующая роль в поступлении растительного опада остается за растениями напочвенного покрова, состав и проективное покрытие которого изменяются в зависимости от микроклиматических условий и типа вырубок. В ходе естественного возобновления растительности увеличивается поступление ряда химических элементов в составе быстроминерализуемых компонентов опада лиственных деревьев, что способствует увеличению поступления на поверхность почв азота, кальция и некоторых других элементов (Дымов и др., 2012а). При сукцессиях почв на пасечных участках, при отсутствии дополнительных механических воздействий и возобновлении лиственными древесными породами изменение физико-химических свойств прослеживается в первое десятилетие после рубок, на стадии формирования вторичного леса. Изменение физико-химических свойств почв происходит достаточно динамично. В большинстве типов леса выявлено возрастание значений pH по сравнению с исходными (фоновыми) почвами (рис. 4.10). Можно предположить, что кислотность почвенных растворов изменяется при удалении прижизненных выделений растений древесного яруса, изменениях качественного состава опада (как напочвенного покрова, так и вновь образующегося древесного яруса), и активности почвенной биоты.

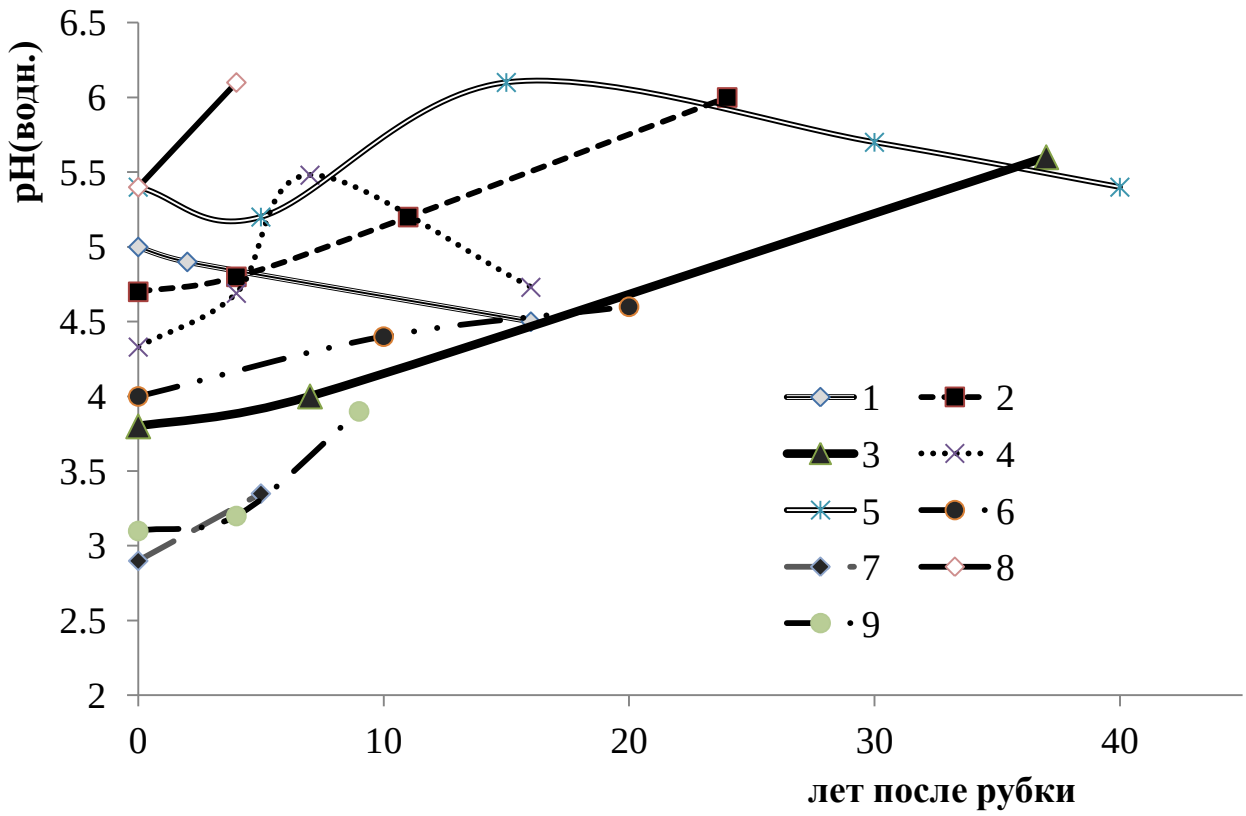


Рисунок 4.10. Изменение кислотности (pH водн.) лесных подстилок на вырубках в различных типах леса. Обозначения: 1 – подзол иллювиально-железистый, сосняк лишайниковый, Коми (Верхоланцева, 1962); 2 – дерново-подзолистые, пихтарник мелкотравно-зеленомошный, Красноярский край (Трефилова, Ефимов, 2015); 3 – подзолистая, ельник черничный, Коми, Тиман (Путеводитель.., 2007); 4 – подзол на двучленных отложениях, ельник черничный, Архангельская обл. (Орфанитский, Орфанисткая, 1971) 5 – буроподзолистая почва, ельник травяно-липняковый, Свердловская обл. (Дедков и др., 1987); 6 – подзол на двучленных отложениях, сосняк бруснично-зеленомошный, Коми (Дымов и др., 2012б); 7 – подзол иллювиально-железистый, ельник черничный, Карелия (Путеводитель…, 2005); 8 – сильноподзолистая, ельник черничный, Ярославская обл. (Сухарева, 1957); 9 – торфяно-подзолисто-глееватая на двучленных отложениях, сосняк сфагновый, Ленинградская обл. (Кощеев, 1955).

Возрастание pH, наблюдаемое на вырубках в первые годы, просходит вследствие удаления древостоя, прижизненные корневые выделения которого обычно оказывают существенное подкисляющее значение. Снижение микробиологической активности будет способствовать уменьшению поступления углекислого газа в состав газовой фазы почв, тем самым изменяя реакцию почвенной среды. По истечении нескольких десятилетий (от одного до трех в зависимости от лесорастительных условий) и формирования вторичного древостоя на вырубках, большую роль в подщелачивании играет качественный состав быстроразлагаемого древесного опада, обычно с преобладанием листьев березы и

осины (Vesterdal et al., 2008). Обратная зависимость – возрастание кислотности (уменьшение на пол-единицы pH) выявлена для подстилок подзолов, формирующихся под сосняками лишайниковыми (Верхоланцева, 1962), и бурых почв Среднего Урала (Дедков и др., 1987). Вероятно, объединяющим фактором для рассматриваемых почв будет являться наличие хорошего дренажа, сопровождающегося возрастанием микробиологической активности, уменьшением мощности подстилки и возрастанием поступления кислых органических соединений в почву. Возобновление растительности после рубок, приводит к изменению степени насыщенности основаниями. Для подстилок ельников черничных Ярославской (Сухарева, 1957) и Архангельской (Орфанитский, Орфанитская, 1971) областей выявлено уменьшение суммы обменных оснований в первые годы. При этом уже к 7-10 годам содержание обменных форм кальция и магния, а также степень насыщенности основаниями возрастает. В почвах сосняков лишайниковых в течение первых десятилетий после рубки происходит плавное возрастание содержания кальция и магния (Верхоланцева, 1962). При этом степень насыщенности основаниями уменьшается. Для подзолистых почв Южного Тимана выявлено существенное возрастание обменных катионов и степени насыщенности основаниями (Путеводитель, 2007). Наиболее стабильными оказались рассматриваемые показатели в подстилках вторичных фитоценозов (рис. 4.11), сформировавшихся после рубки сосняков бруснично-зеленомошных (Дымов и др., 2012б).

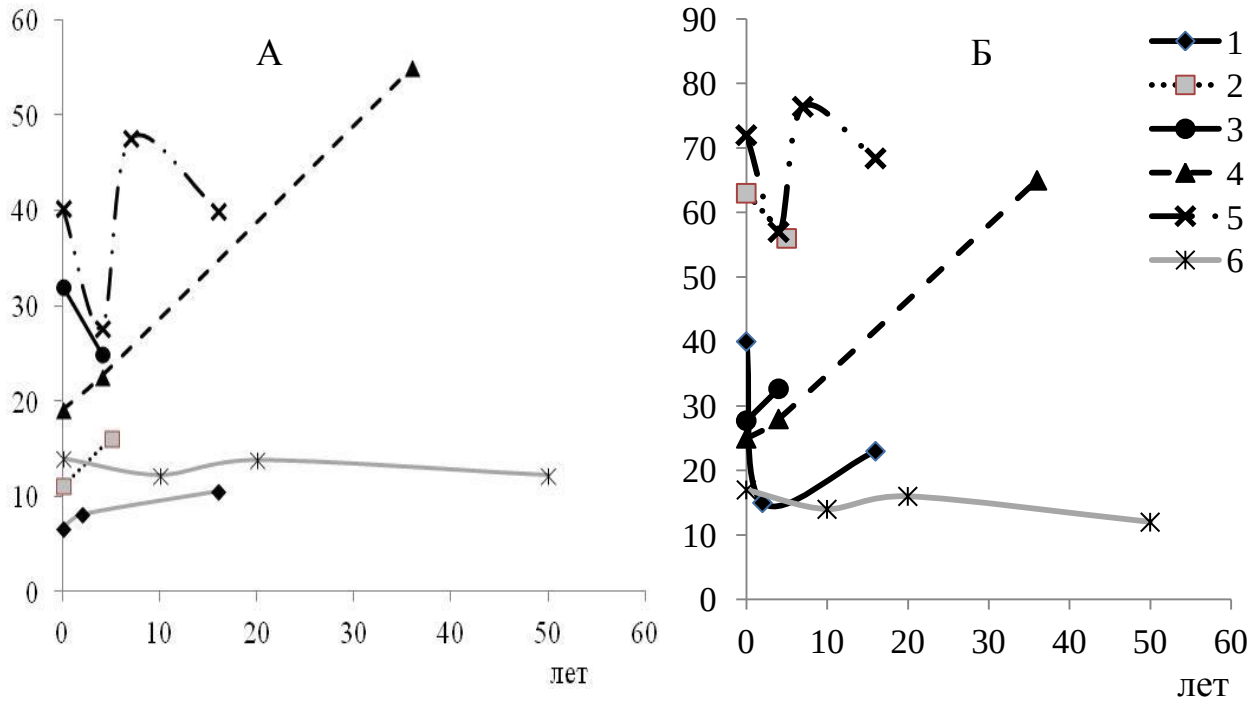


Рисунок 4.11. Изменение суммы оснований экстрагируемых 1 моль(экв) дм$^{-3}$ раствором KCl из лесных подстилок, смоль (экв.) кг$^{-1}$ подстилки (А) и степени насыщенности основаниями, % (Б). Обозначения: 1 – подзол иллювиально-железистый, сосняк лишайниковый, РК (Верхоланцева, 1962); 2 – подзол иллювиально-железистый, ельник черничный, Карелия (Путеводитель, 2005); 3 – сильноподзолистая, ельник черничный, Ярославская обл. (Сухарева, 1957); 4 – подзолистая, ельник черничный, РК, Тиман, (Путеводитель.., 2007); 5 – подзол на двучленных отложениях, ельник черничный, Архангельская обл. (Орфанитский, Орфанитская, 1971); 6 – подзол на двучленных отложениях, сосняк бруснично-зеленомошный, РК (Дымов, 2007).

Для почв полнопрофильных сукцессионных рядов характерно удаление подстилок непосредственно при воздействии тяжелой агрегатной техники и последующее ее восстановление при возобновлении растительности; происходит изменение кислотности, возрастание содержания углерода в верхних горизонтах (Тощева, 1988; Дымов, 2007), как в виде слаборазложившихся остатков, так и связанного с минеральной матрицей.

4.3.3. Почвенное органическое вещество

Во всех исследованных почвах серии УК выявлено доминирование наиболее гидрофильных фракций в составе щелочерастворимого ОВ (табл. 4.15). Максимальное количество органических соединений, связанных с лигнино- и целлолюзоподобными соединениями выявлено в подгоризонтах подстилок. Для почвы условно-фонового участка 1УК наблюдается увеличение доли наиболее гидрофильных соединений вниз по профилю. В минеральных горизонтах условно-фонового участка возрастает доля органоминеральных соединений пятой фракции. Основные закономерности изменения почвенного органического вещества, выявленные в почвах серии УК, проявляются в возрастании доли гидрофильных органических соединений первой и второй фракции в подстилках. Наблюдается тенденция уменьшения содержания третьей и четвертой фракций ОВ, что в значительной степени определяется изменением качественного и количественного состава растительного опада в ходе лесовозобновления. В минеральных горизонтах вторичных фитоценозов выявлено статистически достоверное возрастание растворимых органоминеральных соединений пятой фракции, по сравнению с соответствующими горизонтами условно-фонового участка (1УК). Вероятно, это связано с увеличением содержания низкомолекулярных органических соединений, способствующих извлечению соединений железа и алюминия из минеральных горизонтов почв (Falsone et al., 2012). С другой стороны, это может определяться развитием оглеения, в результате которого происходит накопление соединений железа и алюминия, способных к реакциям комплексообразования (Зайдельман, 1998). Вероятно, косвенное влияние может оказывать изменение кислотности. При смене основных эдификаторов лесных сообществ наблюдается уменьшение кислотности почв, наиболее контрастно проявляющееся при сравнении подстилок участков 1УК и 3УК (Приложение 1.2). При уменьшении содержания углерода водорастворимых органических соединений в нижних подгоризонтах подстилок и верхних минеральных горизонтах (Приложение 1.7).

В почвах второй послерубочной серии (ПР) – возобновление растительности после рубки сосняка бруснично-зеленомошного – в течение первого десятилетия наблюдается возрастание степени гидроморфности почв, увеличивается мощность

подстилки (преимущественно за счет увеличения вклада мохового очеса), развиваются процессы оглеения, интенсивность проявления которых ослабевает по мере развития древесного яруса (Дымов и др., 2012а).

Значительное количество органических веществ (Приложение 1.2, 1.4) и отдельных гидрофильных фракций ГВ сосредоточено в лесных подстилках (табл. 4.15). В верхних минеральных горизонтах почв, развитых на песках, отмечено существенно меньшее содержание углерода и низкое содержание отдельных амфифильных фракций, по сравнению с почвами развитыми на суглинистых отложениях. Для почвы условно-фонового участка (1ПР) наблюдается, характерное для бореальных почв развитых на песчаных отложениях распределение фракций, проявляющееся в высоком содержании третьей и четвертой фракций, и его уменьшения вниз по профилю к иллювиальному горизонту. Максимальная доля наиболее гидрофильной (первой фракции) выявлено в подзолистом горизонте. Для иллювиального горизонта BHF характерно увеличение вклада органоминеральных соединений пятой фракции. В почве участка 2-ПР наблюдается возрастание гидрофильности ОВ в ферментативном подгоризонте подстилки (O(F)) по сравнению с подстилкой условно-фонового участка. В минеральных горизонтах почв вторичных фитоценозов (2ПР, 3ПР) возрастает доля соединений связанных с железом и алюминием.

Таблица 4.15. Относительное содержание хроматографических фракций (среднее из трех измерений) в составе почвенного органического вещества.

Разрез	Горизонт	Сщ., % масс. от С общ.	Номер фракции					***Dh****
			1	2	3	4	5	
УК (после рубки ельника черничного)								
1УК	O	16	40.2±0.8	16.9±2.9	17.1±2.6	24±4	1.4±1.0	1.3
	ELe	12	54.2±2.5	4.8±2.1	22±5	9±4	10±3	1.4
	ELhi	39	60±6	9.0±4	15±9	11±5	5.3±2.4	2.1
2УК	O	17	42.6±2.5	16±7	16.7±0.8	22±6	2.6±0.7	1.4
	ELhi, g	19	54.0±1.5	8±3	6.9±1.9	7.6±0.7	23.9±2.3	1.6
	ELg, f	23	45.7±2.7	1.2±0.6	1.2±1.1	5.1±0.7	46.7±2.1	0.9
3УК	O	11	51±4	18.4±1.8	14±3	14.9±1.8	1.0±0.9	2.3
	ELhi	16	39±5	2.4±1.8	4.3±2.8	5.8±1.1	49±6	0.7
	ELn	12	38±.8	2.8±0.5	12±10	9±6	39±8	0.7
ПР (после рубки сосняка бруснично-зеленомошного)								
1ПР	O(F)	9	54±4	13±4	14.5±1.6	17.2±1.8	1.5±0.8	2.0
	O(H)	14	49±4	11±4	20.1±2.8	19±6	1.3±1.0	1.5
	Ehi	28	68±8	2.5±1.4	12±4	10±8	8.1±1.6	2.4
	BFg	21	63±9	1.31±1.0	6.4±2.5	9±6	20±4	1.8
2ПР	O(F)	8	55±2	15.8±0.6	20±4	9.9±1.3	0.7±0.1	2.4
	O(H)	35	42.9±2.8	13±3	20±5	22±8	1.7±1.0	1.3
	Eg	24	47±6	2.5±2.1	2.45±1.8	6±5	42±12	1.0
	BFg, n	18	51±7	3.3±0.7	3.7±1.1	7±4	35±18	1.2
3ПР	O(F)	7	47.2±1.0	14±3	13±4	23.4±0.5	1.7±0.9	1.6
	O(H)	25	55±3	9±5	16±5	19±3	1.6±0.9	1.7
	Eg, hi	19	58±6	1.4±0.7	91±4	23±8	8.7±2.9	1.5
	BFg	14	43.6±2.4	1.7±2.5	4.0±2.4	6±3	45±4	0.8

Примечание: *Dh – степень гидрофильности органического вещества определяли по следующей формуле: Dh= (Σ1+2)/(Σ3+4+5) ; ± – среднеквадратичное отклонение.

Степень гидрофильности (*Dh*) существенно различается в рассматриваемых почвах (табл. 4.15.). Для почвы коренного ельника наибольшей гидрофильностью характеризуется иллювиальный горизонт, наиболее гидрофобно почвенное органическое вещество в подстилке, за счет высокой доли лигниноподобных соединений. В первые десятилетия после рубки происходит усиление гидрофильности органического вещества, как в подстилке, так и элювиальном горизонте (2УК). В минеральных горизонтах почвы березняка (3УК) наблюдается усиление гидрофобной части, на фоне общего уменьшения содержания углерода и доли щелочнорастворимой фракции ОВ (табл. 4.15).

Для почв развитых на двучленных отложениях выявлены более высокие значения степени гидрофильности органического вещества, по сравнению с почвами, развивающимися на суглинках. Для почвы условно-фонового участка (1ПР) наблюдается максимальная степень гидрофильности в элювиальном горизонте. Развитие процессов гидроморфизма и усиление доли мхов в напочвенном покрове способствуют увеличению значений показателя D_h в ферментативном подгоризонте подстилки O(F) (2ПР). В почвах, характеризуемых развитием процессов оглеения (2ПР, 3ПР), наблюдается усиление гидрофобности ОВ минеральных горизонтов, по сравнению с соответствующими горизонтами условно-фонового участка.

Для почв таежных экосистем характерно преимущественно напочвенное поступление 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. При этом существенную роль играет механический состав грунтов и климатические особенности формирования почв. Показано, что с увеличением гидрофобности фракций ГВ происходит увеличение их молекулярной массы, содержания углерода и ароматических структур, коагулирующей способности, уменьшение содержания кислорода (Заварзина и др., 2008; Милановский и др., 2008; Милановский, Шеин, 2002; Шеин, Милановский, 2003). Образование отдельных фракций ГВ в значительной степени определяется гидрологическими условиями функционирования почв. Так в условиях вырубок наблюдается временное увеличение гидроморфизма почв, что приводит к уменьшению периода нахождения этих почв в окислительных условиях. При поступлении ОВ из подстилки происходит увеличение содержания органических соединений в почвенно-грунтовых водах, приводящих к усилению гидролиза минеральных компонентов почв. Вероятно, это происходит на фоне усложнения структуры ГВ, изменения аминокислотного состава (Дымов и др., 2011) и кислотно-основных свойств органического вещества (Дымов и др., 2012б). Одним из основных факторов способствующих изменению гидрофильности органического вещества является качественный состав растительного опада, поскольку в этом

случае происходит изменение состава лигниновых соединений вовлекающихся в биогеохимический цикл (Карманов, Кочева, 2006; Ковалева, Ковалев, 2009) и содержания низкомолекулярных органических соединений влияющих на амфифильные свойства органического вещества (Stark et al., 2012). Поскольку значительная часть пней и крупных древесных остатков не диагностируется в почвах уже через несколько десятилетий (Осипов и др., 2014) Полученные данные согласуются с усилением миграционной способности органического вещества в почвах производных лесов (Новгородова, Поздеев, 2009), возрастании мобилизации органических веществ индивидуальной природы (танниды, низкомолекулярные кислоты и др.) из компонентов растительного опада в почвенный раствор при увеличении степени гидроморфизма (Кауричев, Яшин, 1973).

Результаты денсиметрического фракционирования приведены для элювиальных горизонтов почв (табл. 4.16). Основную долю элювиального горизонта условно-фонового участка составляют фракция $ТФ_{>2.2}$ с плотностью более 2.2. г $см^{-3}$. Существенный вклад вносит органоминеральная фракция $ТФ_{1.6-2.2,}$ в которой сосредоточена часть почв с плотностью от 1.6 до 2.2 г $см^{-3}$. Окклюдированное и свободное органическое вещество составляет десятые доли процентов, но при этом, именно в этих фракциях содержится основное количество органического углерода и азота. В элювиальном горизонте молодой вырубки (2УК) выявлено существенное возрастание доли органоминеральной фракции $ТФ_{1,6-2,2}$, увеличение фракции окклюдированного органического вещества, по сравнению с почвой условно-фонового участка, что в целом совпадает с увеличением запасов углерода как в подстилке, так и в минеральных горизонтах изучаемых почв (Falsone et al., 2012). Концентрации углерода в рассматриваемой фракции значительно меньше, чем в почвах коренного ельника и участка 3УК. Соотношение денсиметрических фракций, содержание в них углерода и азота в почве участка 3УК близко к почве условно-фонового участка.

Для оценки влияния последствий послерубочного естественного лесовозобновления на почвенное органическое вещество проведено изучение содержания молекулярных фрагментов в составе ПОВ вырубок (1-3УК). На момент

отбора образцов участки представлены 13-летним молодняком, 43-летним лиственно-хвойным насаждением и условно-фоновым участком – ельником кустарничково-зеленомошным.

Таблица 4.16. Соотношение денсиметрических фракций и содержание углерода в верхних элювиальных горизонтах почв вырубок.

Разрез	$СОВ_{<1.6}$	$ООВ_{<1.6}$	$ТФ_{1.6-2.2}$	$ТФ_{>2.2}$
Доля фракций (% от массы почвы)				
1УК	0.2	0.1	9.7	90.0
2УК	1.1	4.2	39.5	55.2
3УК	0.9	0.1	8.4	90.6
Содержание углерода во фракциях (% от массы фракции)				
1УК	20.0	24.9	1.0	0.2
2УК	26.2	6.9	2.7	0.6
3УК	19.8	30.1	0.8	0.2
Отношение C/N во фракциях почв				
1УК	32	37	9	4
2УК	30	39	17	8
3УК	22	43	7	5

Оценка содержания молекулярныз фрагментов в составе органического вещества верхних подгоризонтов подстилок вырубок показало, что в целом в почвах вторичных лесов состав органического вещества достаточно стабильный (табл. 4.17). Органическое вещесто верхних подгоризонтов подстилок характеризуются близким составом. Выявлено, что в верхнем подгоризонте подстилки 13-летнего хвойно-лиственного молодняка возрастает доля алкильных соединений, при некотором снижении О-алкильных структур в составе ПОВ. В ходе послерубочной сукцессии происходит возрастание доли метоксильного углерода, это вероятно может быть обусловлено возрастанием поступления лигниновых компонентов в составе опада. Наибольшие изменения выявлены при сравнении нижних подгоризонтов подстилок: при практически неизменном доминировании О-алкильных фрагментов (от 45 до 50 %), наблюдается существенное, постепенное снижение доли алифатических структур от 30 % в почве условно-фонового участка до 13 % в почве 43-летнего березняка. Кроме этого существенного возрастает доля ароматических (в 4 раза) и фенольных фрагментов (в 5 раз). Несколько увеличивается доля углерода карбоксильных фракций.

Таблица 4.17. Содержание молекулярных фрагментов и интегральные показатели органического вещества лесных подстилок (по данным ^{13}C-ЯМР спектроскопии).

Участок	Гори-зонт	Распределение углерода, %								fa	алкил/ О-алкил	Hb	AR/AL
		C_{Alk-H}	C_{CH3-O}	C_{Alk-O}	$C_{O-Alk-O}$	$C_{Ar-H(C)}$	$C_{Ar-O,N}$	$C_{COOH(R)}$	$C_{C=0}$				
1УК	O(F)	31.8	8.6	48.1	7.0	0.4	0.2	3.9	н.о.	0.6	0.5	32.2	0.006
	O(H)	30.0	7.3	45.6	8.4	3.5	0.7	4.6	н.о.	4.2	0.5	33.5	0.044
2УК	O(F)	42.2	10.5	36.9	5.1	1.0	0.3	3.9	н.о.	1.3	0.8	43.2	0.013
	O(H)	24.5	4.7	45.1	8.7	9.4	2.5	4.5	0.6	11.9	0.4	33.9	0.135
3УК	O(L)	35.2	12.1	41.0	6.3	0.3	0.8	4.3	н.о.	1.1	0.6	35.5	0.011
	O(H)	12.7	0.11	50.5	13.6	14.2	2.6	6.3	н.о.	16.8	0.2	26.9	0.202

Н.о. – не обнаружено.

В процессе сукцессии наблюдается возрастание степени ароматичности органического вещества от 4 в горизонте O(H) условно-фонового участка, до 17 в почве 43-летнего вторичного березняка.

Изменение экологических условий почвообразования на вырубках, переувлажнение почв на первых стадиях послерубочной сукцессии, смена хвойных пород на мелколиственные, включение в процессы гумификации качественно иного опада нашли свое отражение в изменении амфифильности органического вещества. Установлено, что в результате смены растительности изменяются соотношения гидрофобных и гидрофильных компонентов ГВ. Наибольшие изменения происходят на первых стадиях возобновления древесной растительности на вырубках. При естественном лесовозобновлении трансформация ОВ заключается в формировании преимущественно гидрофильных компонентов в подстилках. Более реакционно-активные гидрофильные соединения в почвах вырубок на первых стадиях лесовозобновления, обуславливают метаморфизм твердой фазы почв и накопление Fe-Al-органических соединений в верхних минеральных горизонтах профиля. Показано, что в верхних элювиальных горизонтах молодой вырубки, формирующейся на суглинистых отложениях, наблюдается возрастание окклюдированного вещества и органоминеральных фракций с плотностью 1.6-2.2 г $см^{-3}$.

4.4. Почвы трелевочных волоков и лесопогрузочных площадок

Территория, подверженная воздействию лесозаготовительных мероприятий, неоднородна по степени воздействия. Наиболее нарушенными на территории лесосек являются почвы и почвоподобные тела трелевочных волоков и лесопогрузочных площадок. На нарушенных участках возобновление растительности задерживается на несколько лет (Соколов, 2006; Засухин и др., 2004). В качестве объектов исследования подобраны почвы, формирующиеся на участках лесосек, испытывающих существенное прямое механическое воздействие тяжелой агрегатной лесозаготовительной техники в подзоне средней тайги. Исходные нативные почвы формировались на суглинистых моренных и двучленных флювиогляциальных отложениях. Для большинства рассматриваемых участков исходными (дорубочными) типами леса являются сосновые, еловые и смешанные хвойно-лиственные леса.

4.4.1. Морфологические свойства почв лесопогрузочных площадок и трелевочных волоков

По сравнению с естественными почвами, верхние генетические горизонты почв волоков и лесопогрузочных площадок, полностью трансформированы, и представлены смесью минеральных горизонтов, подстилок и порубочных остатков. Особенностью многих исследуемых почв является наличие на глубине от 20 до 40 см горизонта с погребенными порубочными остатками и различными подгоризонтами подстилок. Верхние минеральные горизонты исследуемых почв переуплотнены, что способствует изменению латеральных потоков почвенно-грунтовых вод, и развитию процессов оглеения в верхней части профиля. В рамках существующей субстантивной классификации почв (Полевой…, 2008) и классификации антропогенно преобразованных почв (Герасимова и др., 2003; Прокофьева и др., 2014), почвы лесопогрузочных площадок и трелевочных волоков сложно отнести к какому-либо определенному типу почв. Но при этом, в существующей классификации отсутствуют названия (обозначения) для верхних горизонтов определяющих специфику воздействия, а именно высокую долю крупных древесных и порубочных остатков. Именно присутствие крупных древесных остатков отличает рассматриваемые почвы, от молодых почв отвалов и

карьеров (Абакумов, 2004). Необходимо отметить, что ранее было предложено обозначение R для верхних турбированных горизонтов почв вырубок (Тощева, 1988; Целищева и др., 1991), так же при отражении переуплотнения и высокой доли крупных древесных остатков (КДО). По нашим наблюдениям мощности таких горизонтов могут достигать от нескольких сантиметров до метра с различной степенью переуплотнения, различной долей порубочных остатков и сегрегацией железа. Факторы, влияющие на глубину воздействия, представлены на рисунке 4.12.

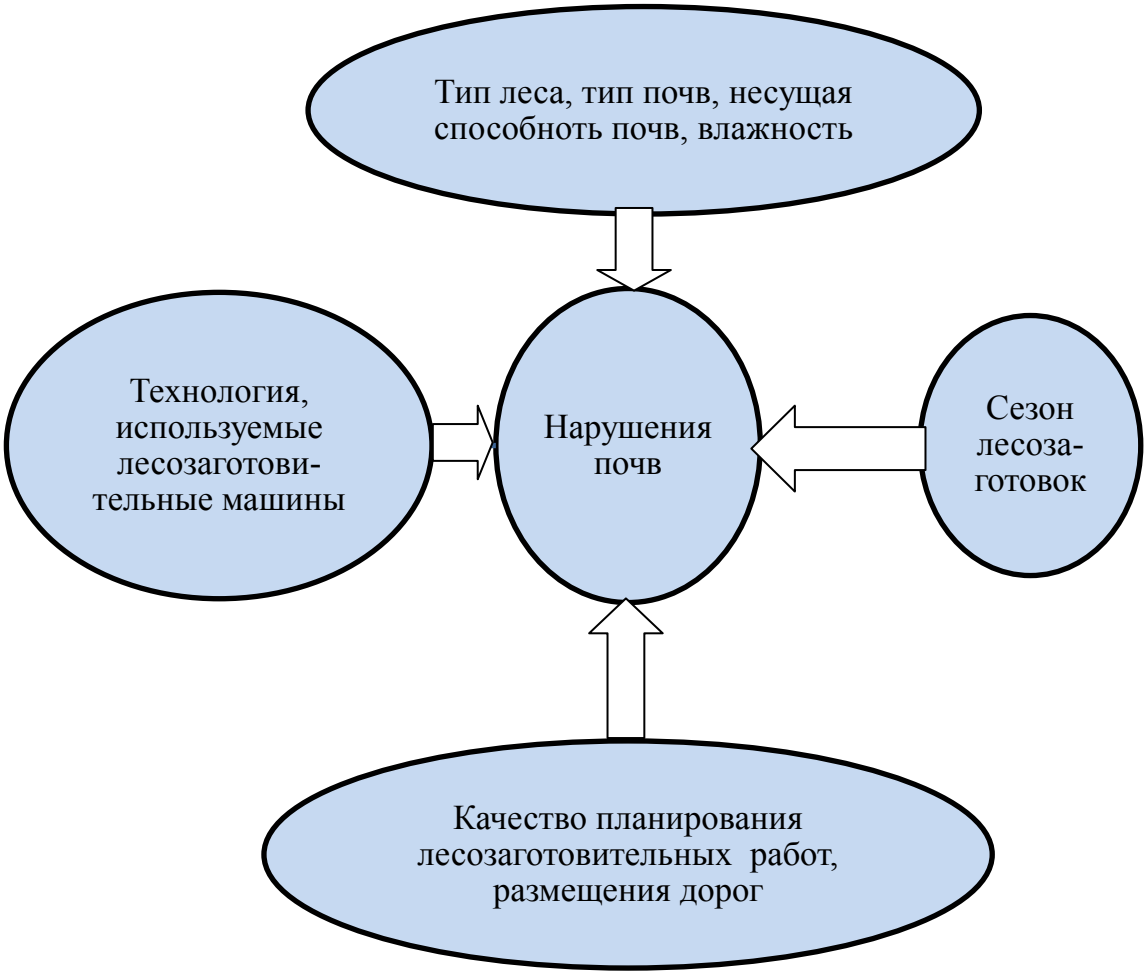


Рисунок 4.12. Факторы, влияющие на степень нарушения лесных почв при лесозаготовительной деятельности.

В ходе проведения исследований было выявлено две почвенные разности, отличающиеся характером почвообразующих грунтов. В случае, когда механическое воздействие затрагивает почвенные горизонты изначально присутствующие на исследуемых участках, формируются турбоземы детритные. Наиболее близким для почв верхних горизонтов волоков и лесопогрузочных площадок является обозначение TUR. Но при этом, турбирование происходит не всегда для горизонтов, присутствующих ранее на данном участке. Для рассматриваемых почв характерно привнесение части материала на гусеничных и колесных агрегатах с горизонтов всей лесосеки образуя механически трансформируемые горизонты (TUR). При этом нельзя исключать привнесения материала при планировке поверхностей тяжелой агрегатной техникой после завершения работ на делянках. Таким образом, почвы, для которых характерно перемешивание (турбирование) верхних генетических горизонтов, мы предлагаем относить к турбоземам. Учитывая широкое распространение таких почв на территории России, вероятно, следует в отделе Турбоземов выделить отдельный тип Турбоземы детритные с горизонтом TURcwd, поскольку одним из основных определяющих признаков является наличие крупных древесных остатков, которые обозначаются cwd (с англ. coarse woody debris (Shorohova, Kapitsa, 2016)). При этом в скобках, следует отмечать природные горизонты, подвергнувшиеся турбации, в случае возможности идентификации исходных генетических горизонтов. Допустим, TUR (O, E, BHF)cwd или (O, EL, BEL). Малым индексом отмечать переуплотнение (d), развитие процессов оглеения (g), гумусовую стратификацию (rt). Малый индекс (cwd) – присутствие крупных древесных остатков более 5 %, можно использовать и в нативных, естественных горизонтах лесных почв, при сохранении более 20 % исходного горизонта. Нижние минеральные горизонты в почвах на рассматриваемых технологических элементах вырубок могут сохранять естественное морфологическое строение, но при значительном возрастании плотности. Так, например, строение профиля турбозема детритного текстурно-дифференцированного будет следующее: O(L)/AY-TUR1cwd – TUR2cwd, g, d – [CWD/O]– BTg, fe – BTg. В ходе дальнейшей сукцессии, в 19 и 45-летних турбоземах, происходит формирование маломощного подстилочного горизонта.

Некоторые отличия выявлены для почв участков, на которых происходила отсыпка привнесенными материалами. Особенности нижних горизонтов заключаются в его приносном, антропогенном характере, наиболее близко отражает его особенности малый индекс tch, предложенный Прокофьевой с соавторами для городских почв (Прокофьева и др., 2014). Профиль почвы в данном случае будет иметь следующее строение: O/AY–TUR1cwd–TUR2cwd, g, d–TUR3g – [CWD/O]–BCch–Ctch. При этом верхние горизонты рассматриваемых почв достаточно близки.

Диагностический горизонт, характерный для всех рассматриваемых разрезов, имеет общие морфологические особенности. Описание диагностического горизонта TURcwd. Неоднородный по окраске, преобладающий цвет (от серого до темно–серого), представлен фрагментами горизонтов исходной почвы и лесной постилки. Переуплотнен, доля древесных остатков (древесные ветви, корни, вершины стволов, части пней) различного размера и степени разложения составляют от 5 до 40 % от объема горизонта. Структура не является диагностической, но в наиболее нарушенных участках переуплотнение приводит к формированию крупноплитчатой структуры. В некоторых случаях поверхность агрегатов может быть покрыта ржавыми органоминеральными пленками (приложение 1.1).

Морфологические почвенные признаки механических нарушений сохраняются в почвах достаточно длительное время – по нашим точкам наблюдений в сукцессионных рядах до 45 лет, но при этом хорошая выраженность признаков, может свидетельствовать о том, что они будут диагностироваться еще достаточно длительное время и в дальнейшем могут быть трансформированы в хорошо выраженный гумусово-аккумулятивный горизонт.

Особую роль в сукцессионном развитии рассматриваемых почв оказывают лесные подстилки. В процессе лесозаготовительных действий на волоках и лесопогрузочных площадках подстилки полностью уничтожаются. На начальных этапах поселения растений, на минеральных горизонтах формируются маломощные подстилки, которые по классификации Богатырева (2004) отражают «развивающую эволюцию» подстилочных горизонтов.

4.4.2 Физико-химические свойства турбоземов детритных

По основным физико-химическим свойствам исследуемые механически нарушенные почвы отличаются от естественно развивающихся подзолов на двучленных отложениях (Дымов и др., 2012б), типичных подзолистых (Дымов, Низовцев, 2015), торфяно-подзолисто-глеевых почв (Забоева, 1975) региона. Кислотность турбозема детритного определяется вмещающими, минеральными почвенными горизонтами, вовлекаемыми в турбацию, и в большинстве случаев имеет близкие к элювиальным горизонтам ненарушенных почв показатели. В ходе зарастания травянистой растительностью, возрастании доли лиственного опада, поступающего на поверхность почв при возобновлении лиственными породами (Дымов и др., 2012а), происходит подщелачивание вновь образующегося горизонта лесной подстилки (приложение 1.6). Эмбриональный подстилочный горизонт характеризуется значениями pH (H_2O) близкими к нейтральным. Верхние минеральные горизонты являются достаточно стабильными по показателям кислотности. Турбирование приводит к существенному изменению и физических наиболее консервативных почвенных свойств. Повсеместно наблюдаемое переуплотнение при достаточно высоком содержании влаги способствует развитию процессов оглеения, особенно интенсивно процессы проявляются в волоках. Привнесение на поверхность почв мелкозема из нижних генетических горизонтов, в том числе с других частей технологических элементов вырубок способствует изменению гранулометрического состава, особенно при исходно неоднородном строении нативных почв. Достаточно четко изменение гранулометрического состава выявлено для турбоземов (5Т, 6Т), нижняя часть которых представлена насыпными песками, а верхняя, до глубины около 60 см, суглинистыми горизонтами. Необходимо отметить, что вблизи точек наблюдения преобладают суглинистые отложения, которые могут быть привнесены на тракторных гусеницах и трелюемых стволах. В подзолах иллювиально-железистых на песках, подстилаемых суглинками, так же наблюдается утяжеление верхних горизонтов по сравнению с исходными почвами. При этом при неглубоком, до 40 см турбировании, двучленность строения профиля сохраняется (приложение 1.7.).

4.4.3. Органическое вещество механически измененных почв

Органическое вещество турбоземов существенно отличается от почв «пасечных» и условно-фоновых участков. В связи с дополнительным поступлением компонентов древесного опада и их ускоренной минерализацией происходит возрастание содержания гидрофильных органических соединений в верхних турбированных горизонтах. Увеличение поступления гидрофильных органических соединений приводят к возрастанию соединений связанных с железом и алюминием. В составе щелочерастворимого органического вещества погребенного горизонта восьмилетнего турбозема (табл. 4.18) преобладают

Таблица 4.18. Содержание амфифильных фракций почв трелевочных волоков и лесопогрузочных площадок

Участок, разрез	Горизонт	Глубина	Номер фракции					Dh
			1	2	3	4	5	
Магистральный трелевочный волок 8 лет (2Т)	TUR1	0-4	36.7	11.4	25.7	22.4	3.9	1.0
		4-10	35.3	3.9	8.6	22.3	29.9	0.6
		10-23	27.4	3.8	8.2	18.6	42.0	0.5
	[CWD/O]	23-26	42.5	7.3	17.8	29.0	3.4	1.0
	TUR2g	31-43	25.8	1.3	-	4.0	68.8	0.4
	BD1g	43-54	48.9	2.6	-	3.2	45.3	1.1
Лесопогрузочная площадка 8 лет (3Т)	TUR1	0-5	43.5	9.0	19.1	26.1	2.3	1.1
		5-10	34.6	8.6	23.1	29.8	3.9	0.7
	TUR2	10-30	36.4	10.7	24.2	26.2	2.1	0.9
		30-40	51.9	12.0	14.1	20.5	1.8	1.8
	[CWD/O]	30-40	48.6	14.8	19.5	15.1	2.1	1.7
	TUR3	40-50	41.2	2.1	1.2	3.7	51.7	0.8
Колея 33-летнего трелевочного магистрального волока (6Т)	O(L+F)	0-1	57.2	11.1	10.2	19.9	1.5	2.2
	TUR1cwd	1-13	39.0	8.2	20.5	17.7	14.6	0.9
	TUR2g, cwd	13-25	20.3	2.1	-	3.7	73.9	0.3
	TUR3g	25-60	13.3	3.4	-	3.1	80.2	0.2
	[O+CWD]		21.1	10.5	15.0	9.2	44.1	0.5
	TUR3/[O+CWD]	25-60	16.3	5.2	5.7	4.9	68.0	0.3

Прочерк – не обнаружено.

гидрофильные органические соединения. В составе погребенного горизонта 33-летнего турбозема высокое содержание гидрофильных соединений сохраняется, но при этом, увеличивается содержание органических соединений, связанных с железом и алюминием (табл. 4.18). Наблюдается существенное снижение степени гидрофильности (D_h).

Выявлено, что в почвах исследуемых участков происходит изменение содержания и состава органических соединений. Показано, в турбоземах трелевочных волоков и лесопогрузочных площадок, в составе органического вещества преобладают гидрофильные, способные к миграции в водных растворах органические соединения (табл. 4.19). В составе щелочерастворимых органических соединений верхних минеральных горизонтов и горизонтов с погребенным органическим веществом турбоземов наблюдается возрастание степени гидрофильности, благодаря высокой доле гидрофильных органических соединений.

В верхних минеральных горизонтах механически нарушенных почв наблюдается повышенное, по сравнению с верхними минеральными горизонтами естественных почв, содержание биофильных элементов. При этом значительная часть КДО удаляется в ходе пробоподготовки, что в целом занижает общее содержание углерода. Сравнение содержание углерода и азота в денсиметрических фракциях турбозема и естественной почвы позволило выявить, что фракции свободного и окклюдированного органического вещества механически нарушенных почв характеризуются более высокими концентрациями, как углерода, так и азота. Для всех рассматриваемых фракций верхних горизонтов почвы лесопогрузочной площадки характерно более высокое содержание углерода и азота (табл. 4.19). Но при этом, фракции свободного и окклюдированного ОВ почвы лесопогрузочной площадки характеризуются более узкими отношениями C:N, что свидетельствует о включении в состав рассматриваемых фракций компонентов лиственного опада и обогащении ПОВ азотом. На рисунке 4.13 приведен вклад отдельных фракций

в состав почвенного общего углерода в верхних генетических горизонтах почвы лесопогрузочной площадки и почвы условно-фонового участка.

Таблица 4.19. Содержание углерода, азота и отношения C:N в денсиметрических фракциях турбозема (4Т)

Горизонт	Глубина, см	Фракция	C	N	C:N
			%		
Турбозем детритный					
TUR 1	2-10	$СОВ_{<1.6}$	36.2±1.2	1.13±0.20	37
		$ООВ_{<1.6}$	32.5±1.0	1.08±0.19	35
		$ТФ_{>1.6}$	1.49±0.27	0.111±0.019	16
TUR2	10-20	$СОВ_{<1.6}$	38.7±1.2	1.13±0.20	40
		$ООВ_{<1.6}$	16.8±0.5	0.65±0.12	30
		$ТФ_{>1.6}$	0.5±0.15	0.055±0.014	11
Подзол иллювиально-железистый					
E	9-20	$СОВ_{<1.6}$	11.3±0.4	0.24±0.04	55
		$ООВ_{<1.6}$	8.1±1.5	0.148±0.025	63
		$ТФ_{>1.6}$	0.1	0.01	12
BF	20-55	$СОВ_{<1.6}$	25.7±0.8	0.50±0.09	60
		$ООВ_{<1.6}$	13.3±0.4	0.54±0.10	29
		$ТФ_{>1.6}$	0.36±0.11	0.03	14

Выявлено, что наибольшее возрастание происходит за счет тяжелой фракции, при этом вклад свободного и окклюдированного ОВ в почвах так же достаточно более значителен, чем в почве условно-фонового участка. В механически нарушенных почвах секвестируется значительное количество углерода КДО, которое в течение длительного времени разлагается и обогащает биофильными элементами верхние, а в некоторых случаях и нижние горизонты.

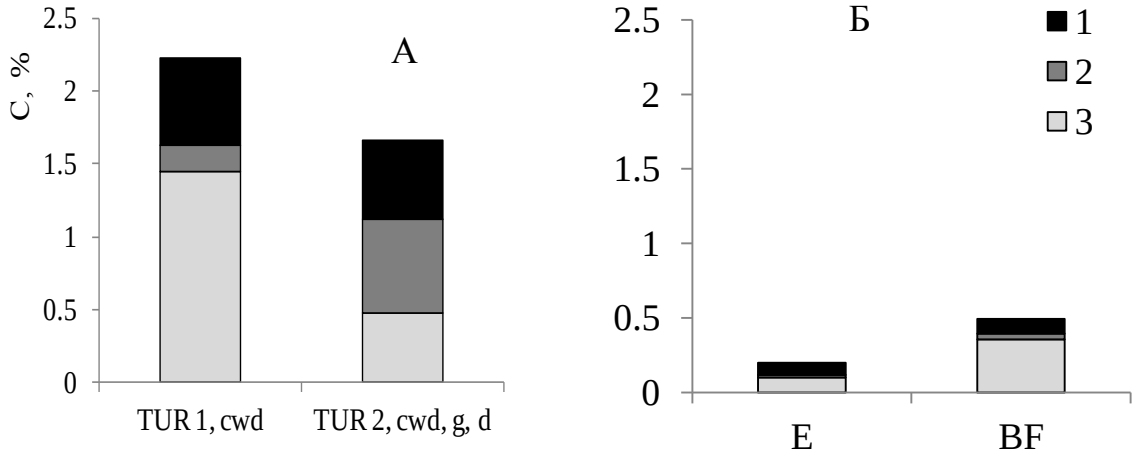


Рисунок 4.13. Вклад углерода денсиметрических фракций в общее содержание углерода в верхних горизонтах турбозема (А) и в верхних горизонтах условно-фоновой почвы (Б). 1 – ТФ$_{>1.6}$; 2 – ООВ$_{<1.6}$; 3 – СОВ$_{<1.6}$.

Изучение содержания молекулярных фрагментов в составе органического вещества денсиметрических фракций показало, что состав денсиметрических фракций и подгоризонтов подстилок имеют некоторые отличия (рис. 4.14). Для подгоризонтов подстилок выявлен больший вклад алифатических фрагментов, по сравнению с исследуемыми 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. Для фракций свободного и окклюдированного органического вещества характерен больший вклад метоксильного углерода, содержание которого определяется содержанием лигнина, а так же содержанием О-алкильных фрагментов, которые свидетельствуют о более высокой доле целлюлозы в составе денсиметрических фракций.

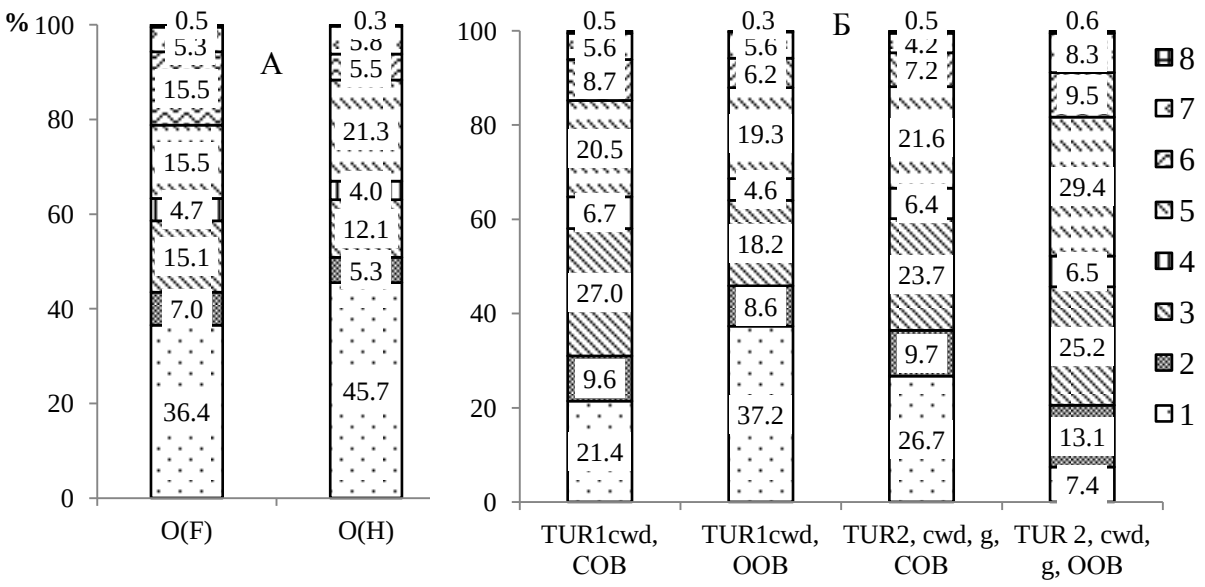


Рисунок 4.14. Относительное содержание молекулярных фрагментов в составе подстилок подзола литобарьерного (А), и фракций свободного и окклюдированного органического вещества верхних горизонтов турбозема детритного (Б). Обозначения: 1 – алкильный С (0-45 м.д.); 2 – метоксильный С / N алкильный С (45-60 м.д.); 3 – О-алкильный С (60-95 м.д.); 4 – ди-О-алкильный С (95-110 м.д.); 5 – ароматический С (110-145 м.д.); 6 – фенольный С (145-165 м.д.); 7 – карбоксильный/амидный С (165-185 м.д.); 8 – альдегидный/ кетонный С (185-220 м.д.).

При этом степень ароматичности ПОВ подстилок составляет 27-31, что сравнимо со значениями fa для фракций свободного органического вещества 29-30. Для фракции ООВ характерен более широкий разброс значений fa от 29 в верхнем турбированном горизонте, до 39 в горизонте TUR2. Таким образом, можно предположить, что часть органического вещества, попадающего в почву в виде растительных остатков, может консервироваться на достаточно длительное время.

Таким образом, проведенные исследования показали, что морфологические признаки механических нарушений, связанных с проведением лесохозяйственных мероприятий морфологически выражены и сохраняются значительное время. Максимальные временные точки наших наблюдений

составляют 45 лет, но высокая сохранность признаков свидетельствует об их значительно большей временной сохранности в почвах.

На наиболее нарушенных участках предложено выделять турбоземы детритные и турбоземы детритные на техногенных отложениях. Первые формируются на лесопогрузочных площадках и волоках при многократном прохождении тяжелой агрегатной техники и турбировании верхних генетических горизонтов. Вторые развиваются на участках с проведенной планировкой и отсыпкой территории лесопогрузочных площадок. Показано, что верхние горизонты рассматриваемых почв, менее кислые, более насыщены основаниями, обогащены углеродом, характеризуются большим содержанием азота. Возрастание общего содержания углерода в механически нарушенных участках происходит, как за счет прочно связанным с минеральной матрицей органическим веществом, так углеродом соединений, находящихся в свободной и окклюдированной форме. Органическое вещество, входящее в состав фракций свободного и окклюдированного ОВ, характеризуется возрастанием доли лигнино- и целлюлозоподобных соединений, при уменьшении доли алифатических составляющих.

ГЛАВА V. ПОЧВЫ ПОСТПИРОГЕННЫХ ЛЕСОВ

5.1. Древесная растительность и растения напочвенного покрова постпирогенных экосистем.

Пожары являются важным фактором, изменяющим бореальные экосистемы Северного полушария (Bond-Lamberty et al., 2007; Воздействие…, 2015). Лесные пожары в коренных лесах являются естественно-циклическим фактором, обусловливающим устойчивое функционирование данных экосистем, которые приводят к заметному изменению биологической активности почв (Бескоровайная и др., 2007; Цветков, 1996; Сорокин и др., 2012), морфологического строения верхних генетических горизонтов (Краснощеков, Чередникова, 2012) особенностей почвенного органического вещества (Шапченкова и др., 2011; Ведрова и др., 2012). Наиболее подвержены пирогенному воздействию сосновые леса. Вероятно, это определяется более сухими лесорастительными условиями. Интенсивность пожара в значительной степени определяется наличием сухого горючего материала и возможностями для развития пожара. Воздействие на растительные сообщества разнонаправлено влияет на развитие древесного яруса. Так, при беглых низовых пожарах не всегда происходит полное повреждение древостоя. Среди исследуемых сосняков, как лишайниковых, так и бруснично-зеленомошных наиболее полное нарушение древесного яруса произошло лишь на участке 3L, на котором было повреждено и засохло около 80 % древостоя (на данном участке в последующем была проведена санитарная рубка древостоя). На участках сосняков лишайниковых (2L, 4L, 5L) и сосняков бруснично-зеленомошных (2-6BM) в ходе беглых низовых пожаров повреждено около 20-30 % древостоя (табл. 2.3). В напочвенном покрове сосняков наблюдается возобновление кустарничков, мхов и лишайников, а так же злаковых трав.

Пирогенное воздействие на древесную растительность формирующихся в полугидроморфных ландшафтах на легких почвообразующих породах приводит к вывалу до 30 % древостоя. При этом нарушения приурочены к участкам очагов, на которых происходит выгорание подстилок вблизи корневых систем

деревьев. На значительной площади таких лесов наблюдается возобновление присутствующих ранее на участке растений напочвенного покрова. В очагах, где происходит полное выгорание подстилочных горизонтов, возобновление растений напочвенного покрова сильно заторможено. Часто в западинах, формирующихся в ходе пирогенеза в полугидроморфных типах леса, наблюдается скопление влаги. На рассматриваемых участках возобновление идет с преобладанием мхов, осок и кустарничков.

Низовые пожары в ельниках способствуют более значительным нарушениям древесного яруса. На всех рассматриваемых участках наблюдается вывал елового древостоя и возобновление лиственными породами с преобладанием березы и осины (Дёгтева, Дубровский, 2014). На наиболее поздних стадиях постпирогенных сукцессий (участки 3S и 4S) в первый ярус выходит ель и сосна. На первых этапах в напочвенном покрове преобладает иван-чай, кукушкин лен, черника. На поздних стадиях постпирогенных сукцессий (3S, 4S) состав растений напочвенного покрова приближается к условно-фоновым участкам.

5.2. Морфологические свойства почв гарей и горельников

Почвы условно-фоновых участков (1L и 1BM) представлены типичными для сосновых лесов подзолами иллювиально-железистыми, формирующимися на песчаных флювиогляциальных отложениях (приложение 2.1). Для почв фоновых участков характерно типичное морфологическое строение: под лесной подстилкой формируется мощный, наиболее светлый в профиле элювиальный горизонт. Под ним залегает иллювиально-железистый горизонт BF, плавно переходящий в горизонты почвообразующей породы (BC). Отличия между фоновыми участками 1L и 1BM заключаются в более мощной и дифференцированной на подгоризонты подстилке на участке сосняка бруснично-зеленомошного (1BM) по сравнению с сосняком лишайниковым (1L), что определяется составом опада и растениями напочвенного покрова. Строение профиля условно-фоновой почвы ельника черничного характеризуется типичным строением, характерным для подзолистых почв, развивающихся на

суглинистых отложениях. Под дифференцированной постилкой формируется элювиальный горизонт (EL), подстилаемый субэлювиальным горизонтом (BEL), ниже расположен текстурно-дифференцированный горизонт (BT). Отличия от текстурно-дифференцированных почв, развивающихся в равнинных условиях, заключаются в менее выраженной текстурной дифференциации, прослеживающейся в нижних горизонтах почвенного профиля, и большей выраженности иллювиально-железистого горизонта (Elf). Вероятно, слабая выраженность текстурной дифференциации нижних горизонтов определяется формированием в склоновых условиях. При этом, основные свойства являются достаточно типичными для подзолистых почв, в том числе (1УК, 1АС). Почвы полугидроморных ландшафтов характеризуются рядом отличий, от лесных почв автоморфных позиций. Для рассматриваемых почв характерна большая мощность подстилки до 20 см, представленная очесом мхов (Оч.), ферментативным горизонтом O(F) с бурым слаборазложившимся материалом, O(H) с хорошо разложенным органическим веществом. Под подстилкой расположен мощный подзолистый горизонт (E), переходящий в иллювиально-гумусово-железистый горизонт (BHF), подстилаемые почвообразующими породами (BC).

Пожары приводят к существенному изменению морфологических свойств почв. Во всех исследуемых почвах подвергнувшихся воздействию пожаров, выявлены пирогенные горизонты и подгоризонты (табл. 5.1). Пирогенное воздействие на почвы, в значительной степени связано с выгоранием органогенных горизонтов, валежа и крупных древесных остатков. Необходимо отметить, что влияние пожара прослеживается приблизительно до глубины 20-30 см (приложение 2.1).

Тип пожара и время, пройденное после пожара способствует сохранению различных морфологических признаков в почвах. На участках наиболее сухих почв под сосняками лишайниковыми (2-5L) происходит полное выгорание подстилок (вероятно, можно применить термин «стирающей эволюции» согласно терминологии Богатырева с соавт. (2004)). Наиболее мощный

пирогенный горизонт сохраняется на участке, пройденном низовым устойчивым пожаром (3L). На участках 2L, 4L, 5L пирогенный горизонт сохраняется на границе вновь формирующейся подстилки и минеральных горизонтов. На поверхности почв постпирогенных участков сосняков бруснично-зеленомошных, пройденных пожарами, выявлен маломощный подгоризонт подстилки Qpyr(L) (0-1 см), представленный остатками сгоревшего растительного материала, а так же свежим растительным опадом, из хвои сосны и шишек, опадание которых существенно активизировалось после пожара. На участках сосняков бруснично-зеленомошных (2-6BM) выявлено частичное выгорание подстилок, при сохранении ферментативных и гумификационных подгоризонтов подстилок («трансформирующая эволюция», согласно Богатыреву с соавт., 2004). На участках 2-6BM пирогенные горизонты выявлены в верхней части подстилок, в виде маломощного слоя представленного углями и продуктами горения. Необходимо отметить, что подстилки в постпирогенных сосняках бруснично-зеленомошных более плотные по сравнению с фоновым участком. Для постпирогенных сосняков бруснично-зеленомошных с частично сохранившейся подстилкой наблюдается потемнение минеральных горизонтов за счет миграционно-способного пирогенного органического вещества. Кроме этого отмечено увеличение содержания углистых включений, по сравнению с почвой фонового участка. В срединных и нижних минеральных генетических горизонтах морфологические различия между условно-фоновым участком (1BM) и постпирогенными участками практически отсутствуют, или перекрываются неоднородностью отложений.

В подзолистых почвах на суглинистых отложения последствия пожаров хорошо прослеживаются в морфологическом строении почв на всех исследуемых участках. Типичное строение профиля постпирогенной почвы приведено на примере участка 2S: Qpyr–ELpyr–ELf–BEL–BT1–BT2. Пирогенное влияние наиболее четко проявляется в морфологическом строении подстилок и верхних минеральных горизонтов. Подстилки более плотные и представлены продуктами частичного горения растительных остатков, древесины, перемешанными со свежим растительным опадом и прослойками углей. Для

почв с большим временем, прошедшим с момента пожара, наблюдается сохранение пирогенных признаков в нижней части постилок (3S), потемнении верхних минеральных горизонтов, меньшей выраженности оподзоленности минеральных горизонтов. В почвах вторичных постпирогенных фитоценозов с более чем 154 годами после пожара, прошедшими с момента пожара, пирогенные признаки так же достаточно хорошо диагностируются. Они проявляются не только в виде углистых включений в нижней части постилки и минеральных горизонтов, но так, же и в виде пирогенных морфонов, формирующихся в результате ветровальных комплексов (4S).

Специфичное влияние пожаров выявлено для почв полугидроморфных ландшафтов. Влияние пожара складывается в неравномерном выгорании подстилок, на значительной части территории, подверженной пожарам, происходит выгорание верхней части подстилок, представленной в значительной степени свежим опадом. В местах, где постилка более сухая – происходит выгорание очагами (Приложение 2.1), при этом практически всегда полностью. В местах, где выгорела лишь верхняя часть подстилок, кроме формирования маломощного пирогенного горизонта не выявлено, дополнительны пирогенных изменений. В местах западин, в которых выгорели постилки, минеральные горизонты содержат значительное число пирогенного материала. Подзолистый горизонт пропитан потечным органическим веществом, наблюдается гидрофобизация, переуплотнение верхних минеральных горизонтов.

Таблица 5.1. Морфологические признаки пирогенного воздействия в исследуемых лесных почвах.

Участок	Время с воздействия	Тип почвы	Глубина прямых нарушений, см	Изменение подстилки*	Потечность органического вещества	Уплотнение верхних минеральных горизонтов	Углистые включения
Сосняки лишайниковые							
2L (29-14)	1 год	Подзолы			+	+	+
3L (15-13)	2 года	иллювиаль.-	до 10 см	1	+	+	+
4L (18-13)	10 лет	железистые			-	+	+
5L (17-13)	16 лет	пирогенные			-	+	+
Сосняки бруснично-зеленомошные							
2BM (72-12)	50 дн.	Подзолы			+	+	+
3BM (6-УК-13)	48 дн.	иллювиальн			+	+	+
4BM (18-14)	83 дн.	о-	до 2-4 см	2	+	+	+
5BM (8-15)	2 года	железистые			+	-	+
6BM (9-15)	2 года	пирогенные			+	-	+
Ельник чернично-зеленомошный							
2S (25-09)	9 лет	Подзолиста			+	+	+
3S (27-15)	100 лет	я	до 20 см	2	+	-	+
4S (16-14)	154 года	пирогенная			+	-	+
Сосняки сфагновые							
2M (25-14)	1 год	Торфяно-	до 20 см (очагами)	3	+	+	+
3M (26-14)	1 год	подзолы			+	+	+
4M (28-14)	3 года	пирогенные			+	+	+

1 – полное выгорание подстилок; 2 – выгорание верхних подгоризонтов подстилок; 3 – выгорание подстилок очагами (в очагах выгорают все подгоризонты подстилок). прочерк – не обнаружено.

5.3. Физико-химические свойства почв постпирогенных фитоценозов

Почв условно-фоновых ландшафтов характеризуются типичными физико-химическими свойствами. Почвы кислые – наименьшими значениями pH характеризуются ферментативные горизонты подстилок (рис. 5.1.). В минеральных горизонтах идет плавное уменьшение кислотности с глубиной. Наиболее высокие концентрации обменных оснований, степени насыщенности основаниями, содержания углерода и азота выявлены для подстилочных горизонтов. Для подстилок характерно высокое отношение C:N, что свидетельствует о слабом разложении компонентов растительного опада. Характерно элювиально-иллювиальное профильное распределение углерода,

оксалаторастворимых форм железа и алюминия, дитиониторастворимых форм железа.

Подзолы иллювиально-железистые являются одними из наиболее кислых почв, максимальной кислотностью характеризуются нижняя часть подстилки и элювиальные горизонты (Приложение 2.2). Кислотность обусловлена низкомолекулярными органическими кислотами, что подтверждается высокими значениями гидролитической кислотности. Наблюдается накопление дитионирастворимого железа в горизонтах BF. Иллювиирование окслаторастворимых форм железа и алюминия выражено в существенно меньшей степени. Обменные катионы аккумулированы в подстилке, в минеральных горизонтах их содержание низкое, при некотором увеличении в иллювиальных горизонтах. Почвы ненасыщенны основаниями. Наблюдается обеднение подзолистого горизонта соединениями железа и алюминия и их накопление в иллювиальном горизонте. Содержание углерода максимально в подстилочных горизонтах. Почвенное органическое вещество характеризуется очень низкой обогащенностью азотом. В минеральных горизонтах содержание углерода и азота очень низкое и практически не различается между генетическими горизонтами.

Физико-химические свойства почвы ельника чернично-зеленомошного (1S) являются типичными для текстурно-дифференцированных почв (Приложение 2.4). Почвы сильнокислые с максимальной кислотностью в элювиальном горизонте (EL). Обменные катионы накапливаются в подстилке, в минеральных горизонтах их содержание очень низкое. Основное количество органического углерода и азота сосредоточено в грубогумусированных подстилках. В горизонте BF наблюдается возрастание иллювиального органического вещества и дитиониторастворимых форм железа.

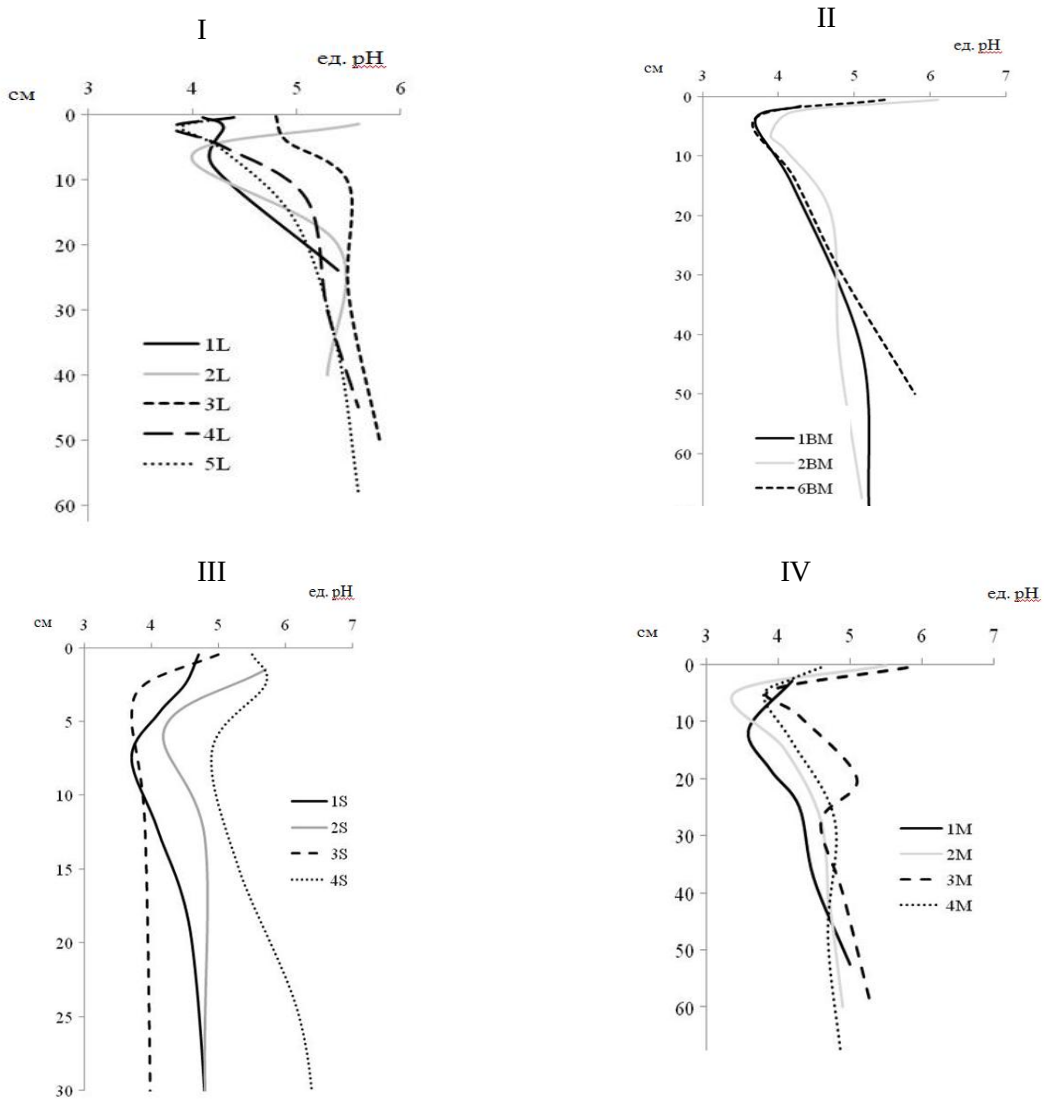


Рисунок 5.1. Профильное изменение pH водной вытяжки в исследуемых почвах. I – почвы сосняков лишайниковых; II – почвы сосняков бруснично-зеленомошных; III – почвы ельников чернично-зеленомошных; IV – почвы сосняков сфагновых.

Для почв сосняков бруснично-зеленомошных, является диагностируемое утяжеление механического состава почвообразующих пород (Приложение 2.7). Линзы и прослойки суглинистого материала появляются с глубины 25-60 см, но при этом не образуют однородного генетического слоя или почвенного горизонта. Вероятно, такие отложения являются промежуточными между легкими (песчаными, супесчаными) и двучленными (песками и супесями, подстилаемыми суглинками) отложениями, что в значительной степени определяется высотой местности и особенностями формирования отложений в

четвертичный период. Гранулометрический состав почвообразующих пород обусловливает специфический водный режим, способствующий удерживанию влаги в почвенном профиле летом и несколько большее плодородие почв по сравнению с однородными песчаными отложениями. Но при этом, рассматриваемые отложения сохраняют своеобразный пирогенный режим, характерный для устойчивого функционирования сосновых фитоценозов высокого бонитета.

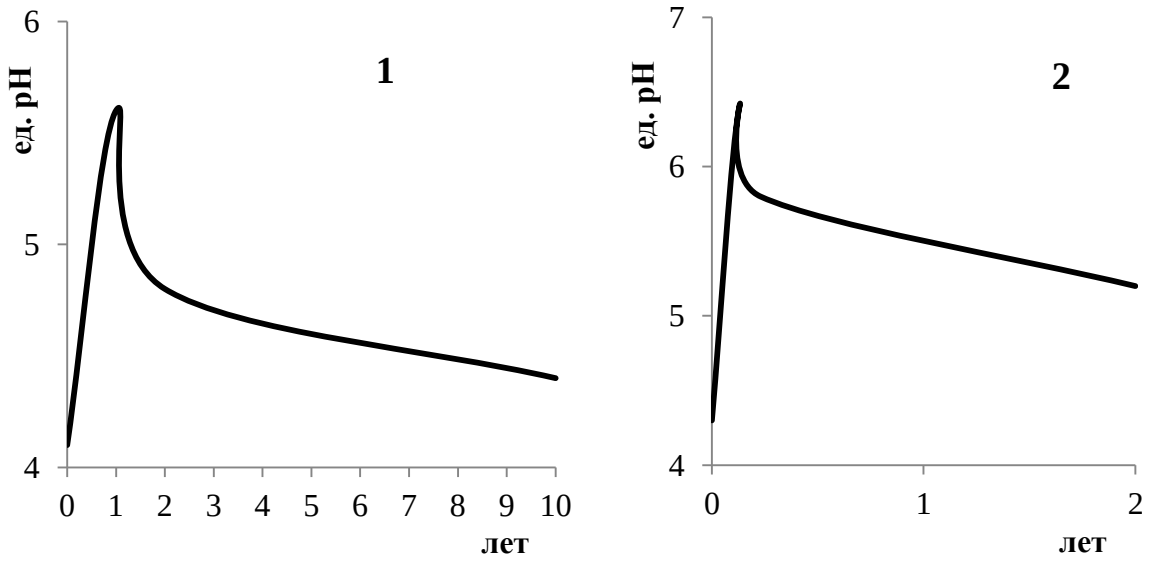


Рисунок 5.2. Изменение кислотности верхних генетических горизонтов сосняков лишайниковых (1) и сосняков бруснично-зеленомошных (2).

Изменение кислотности, содержания кальция и магния, по сравнению с условным фоном выявлено в верхних горизонтах на участках 2-5L, 2-6BM. Наибольшие изменения в физико-химических свойствах почв, происходившие при пожаре, выявлены для подстилок и верхних минеральных горизонтов. По сравнению с почвой условно-фонового участка (1S), в разрезе почвы постпирогенного молодняка (2S) выявлена меньшая кислотность, большая концентрация обменного кальция, обогащение гумуса азотом, проявляющееся в сужении значений отношения C:N. В подстилках и горизонте EL происходит существенное возрастание степени насыщенности основаниями. Полученные данные совпадают с результатами, опубликованными Лукиной с соавт. (2008), показавшими снижение кислотности в органогенных горизонтах, обогащение

минеральных горизонтов азотом и углеродом в почвах северотаежных сосняков лишайниковых и зеленомошных, пройденных беглыми низовыми пожарами на территории Кольского полуострова.

Согласно Сапожникову с соавт. (Сапожников и др., 2001) подщелачивание подстилок в значительной степени связано с влиянием угля, образующегося в результате пожара, поскольку часть низкомолекулярных органических соединений, присутствующих в почвенных растворах гарей, может сорбироваться на его поверхности. Но при этом, в почве (2BM), по сравнению с фоновым участком, наблюдается тенденция увеличения кислотности в минеральных горизонтах (рис. 5.1). Максимальное содержание оксалато- и дитиониторастворимых форм железа выявлено в горизонте Bhi(pyr). Максимум оксалаторастворимого и валового содержания алюминия приходится на горизонт BF1. В почве пройденной пожаром различия в содержании гранулометрических фракций, по сравнению с условным фоном, наблюдаются в возрастании наиболее крупной фракции 1-0.25, при некотором уменьшении доли фракции мелкого песка. Вероятно, это может быть связано с процессами цементации и сцепления агрегатов, которое происходит после пожаров (Mataix-Solera et al., 2011). Кроме этого, нельзя исключать пространственную неоднородность распределения песчаных фракций на рассматриваемых участках.

Схожие изменения физико-химических свойств выявлены и для почв полугидроморфных ландшафтов (2-4M). В верхнем пирогенном горизонте снижается кислотность, сужается отношение C:N во всех исследуемых почвах полугидроморных ландшафтов. При этом нижние подгоризонты подстилок практически не отличаются от условно-фоновых участков. В верхних минеральных горизонтах возрастает содержание углерода, иллювиирование оксалаторастворимых форм железа и алюминия.

5.4. Почвенное органическое вещество гарей и горельников.

5.4.1. Содержание и профильное распределение углерода, азота, отношения C:N.

Наибольшие концентрации органического углерода и азота сосредоточены в лесных подстилках почв условно-фоновых ландшафтов (1L, 1BM, 1S, 1M). Содержание углерода и азота различается как между участками, так и в различных подгоризонтах подстилок (Приложения 2.2-2.7). В подстилках сосняков лишайниковых содержание углерода составляет 32-44 %, в минеральных горизонтах не превышает 0.8 %. В подзолах иллювиально-железистых сосняков бруснично-зеленомошных в подстилках концентрации углерода – 43-45 %, в минеральных горизонтах менее 0.15 %. В подстилках подзолистых почв содержание углерода 41-45 %, в минеральных горизонтах менее 1.4 %. Торфяно-подзолы под сосняками полугидроморфных ландшафтов содержат в подстилках 33-48 %, и менее 0.4 % углерода в минеральных горизонтах. Профильное распределение углерода в минеральных горизонтах плавно убывающее. Схожие закономерности выявлены и для распределения общего азота.

Пожары приводят к полному или частичному изменению лесных подстилок. В пирогенных горизонтах в верхней части минеральных горизонтов почв сосняков лишайниковых происходит возрастание общего углерода на несколько единиц. Некоторое возрастание выявлено и для подзолистых и иллювиальных горизонтов. Содержание углерода в целом ниже, чем в лесных подстилках.

В почвах пирогенных сосняков (2-6BM), в которых не наблюдается полное выгорание лесных подстилок, возрастание углерода в минеральных горизонтах происходит преимущественно за счет растворимых и мелкоразмерных углистых частиц способных к миграции в водных растворах. Нижняя часть сохранившихся подстилок играет роль фильтра, задерживающего попадание большого числа углистых включений в минеральные горизонты.

Подзолистые почвы, испытавшие воздействие пирогенеза (2-4S), характеризуются достаточно близкими концентрациями элемента в верхних минеральных горизонтах. В целом, значения достаточно близки к почвам условно-фоновых территорий.

Одним из наиболее чувствительных параметров к пирогенному воздействию является отношение углерода к азоту. Для все исследуемых пирогенных почв наблюдается существенное снижение отношения C:N в горизонтах испытавших пирогенное воздействие (рис. 5.3). В дальнейшем происходит плавное возрастание отношения C:N. Схожие закономерности прослеживаются и при анализе минеральных горизонтов, испытавших прямое пирогенное воздействие. В то время как на участках с частично выгорающей подстилкой, в первые месяцы наблюдается обратная закономерность – в некоторых случая 2-3ВМ, 5ВМ в минеральных горизонтах C:N либо возрастает, либо остается неизменным.

В участках, подвергнувшихся пирогенезу с частично сохранившейся подстилкой (2-6 ВМ, 2-4 М), отношение C:N остается достаточно высоким, сравнимым с условно-фоновыми почвами, пирогенное изменение воздействие прослеживается в меньшей мере.

Морфологически заметное потемнение верхних минеральных горизонтов почв на участках горельников (2-3ВМ), подтверждается увеличением содержания в них общего органического углерода и азота. Полученные нами результаты совпадают с данными Безкоровайной с соавт. (2007), показавшими увеличение содержания валовых форм азота в подзолах в первый год после прохождения пожара, а также данными Цибарт и Геннадиева (2008), выявившими увеличение содержания гумуса, возрастание отношения Сгк/Сфк в верхних минеральных горизонтах почв Приамурья. Верхние минеральные горизонты почв горельников характеризуются расширением отношения C:N, по сравнению с верхними минеральными горизонтами почв фоновых участков. Таким образом, можно предположить, что мелкоразмерные продукты горения (угольная пыль, сажа), индивидуальные органические соединения, образующиеся в ходе пожара и способные к водной миграции, обогащают минеральные горизонты почв углеродом и азотом (Приложение 2.1).

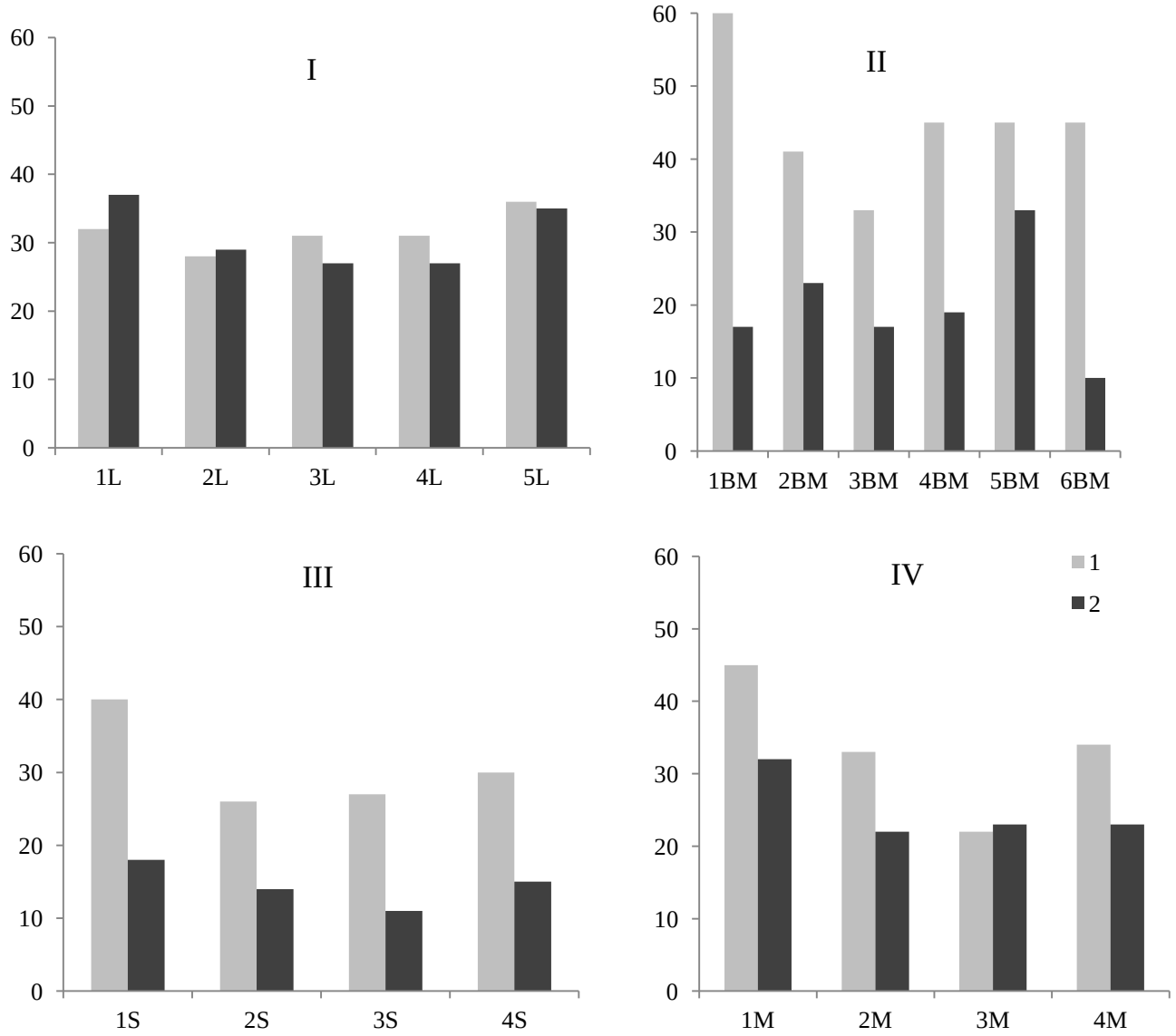


Рисунок 5.3. C:N отношение в верхних подгоризонтах подстилок (1) и верхних минеральных горизонтах (2). Обозначения: I – сосняки лишайниковые, II – сосняки бруснично-зеленомошные; III – ельники чернично-зеленомошные; IV – сосняки сфагновые.

5.4.2. Запасы углерода и азота в постпирогенных почвах

Пирогенное воздействие приводит к некоторым изменениям в общих запасах как углерода, так и азота. В условно-фоновых почвах значительные запасы сосредоточены в грубогумусированных подстилках.

Оценка запасов углерода и азота, сосредоточенных в почвах (до 1 м) фоновых участков сосняков лишайниковых и бруснично-зеленомошных показала, что запасы варьируют в широких пределах и составляют от 2.9 до 6.8 кг $м^{-2}$ углерода, 0.1-0.43 кг $м^{-2}$ азота. Оценка запасов углерода и азота в почвах сосняков, пройденных пожарами, позволила выявить, что общие запасы в пирогенных почвах имеют близкие к фоновому участку значения. Но при этом произошло изменение соотношения элементов, сосредоточенных в подстилках и минеральных горизонтах. На примере подзолов пирогенных показано существенное снижение доли углерода сосредоточенного в подстилках, при возрастании углерода сосредоточенного в верхних минеральных горизонтах (рис. 5.4-5.5). При этом в почвах сосняков лишайниковых по истечении 10-16 лет запасы углерода, сосредоточенные в подстилках восстанавливаются. Низовые беглые пожары в сосняках бруснично-зеленомошных изменяют распределение углерода и азота в почвах. Доля углерода, сосредоточенного в подстилке фонового участка сосняка (1BM), составила 51-60 % от общих запасов. В почве сосняка, пройденного пожаром (2BM), она уменьшилась до 30 % (рис. 5.5). Такая же закономерность выявлена и при оценке запасов азота в подстилке: 18-24 % – в почве фонового участка, 12 % – в почве горельника. С одной стороны, это определяется выгоранием подстилки, а с другой, связано с обогащением минеральных горизонтов продуктами горения. Схожие изменения выявлены и при сравнении подзолистой почвы ельника (1S) и почвы восьмилетней гари (2S).

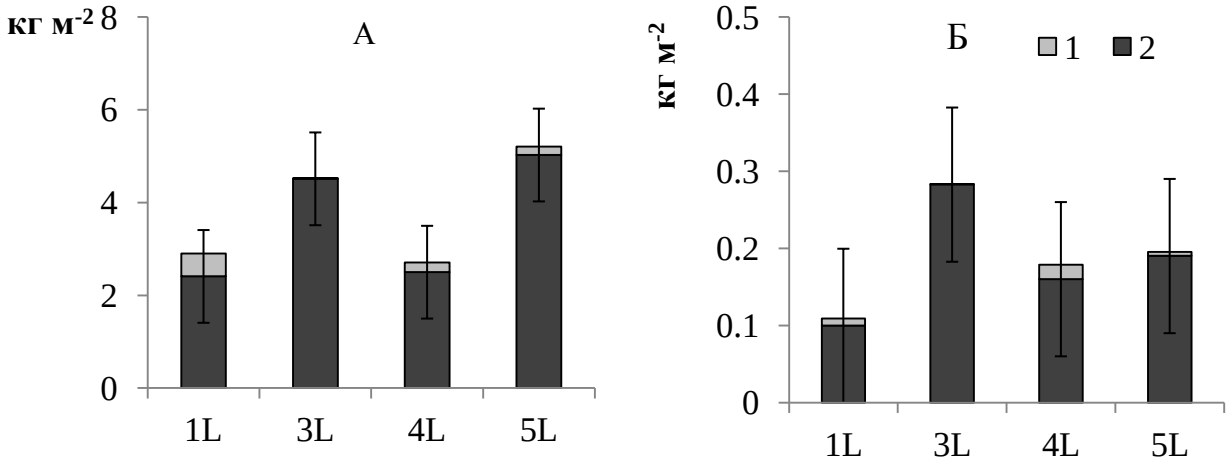


Рисунок 5.4. Запасы углерода (А) и азота (Б) в почвах сосняков лишайниковых (на глубину 1 м). 1 – подстилка; 2 – минеральные горизонты.

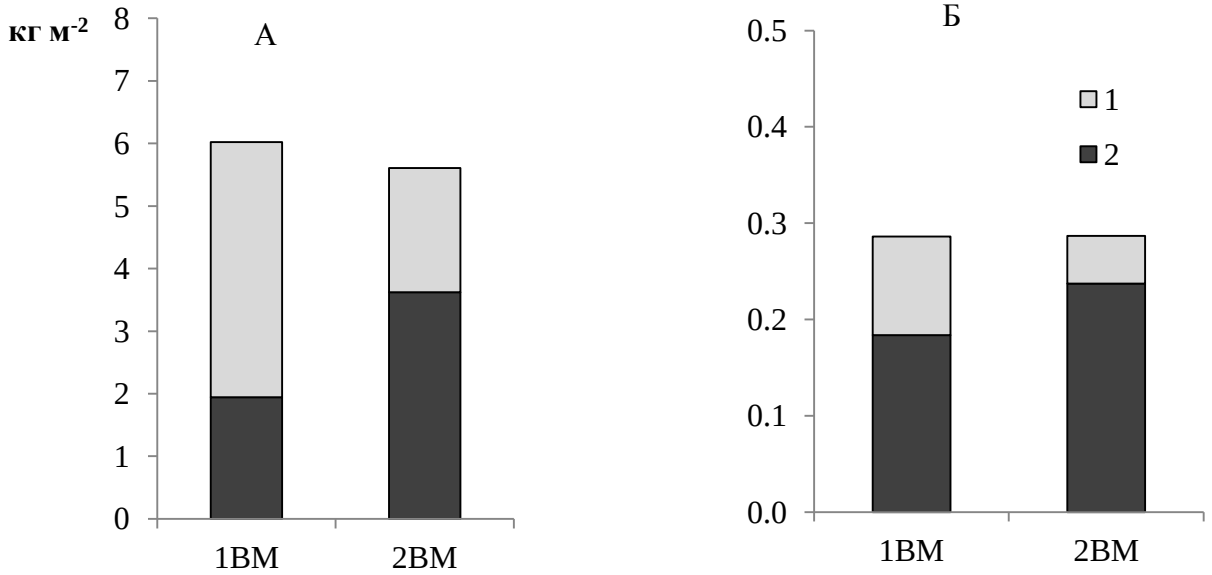


Рисунок 5.5. Запасы углерода (А) и азота (Б) в подзолах сосняков бруснично-зеленомошных (до глубины 1 м). Сосняк бруснично-зеленомошный (1BM), Б – пирогенный сосняк бруснично-зеленомошный (2BM).

В ходе пожаров в таежных биогеоценозах происходит изменение и перераспределение пулов органического вещества между компонентами экосистемы. В процессе горения подстилок и крупных древесных остатков, в первую очередь, наблюдается окисление термолабильной составляющей органического вещества (Шапченкова и др., 2011). Образующиеся продукты горения в существенной степени

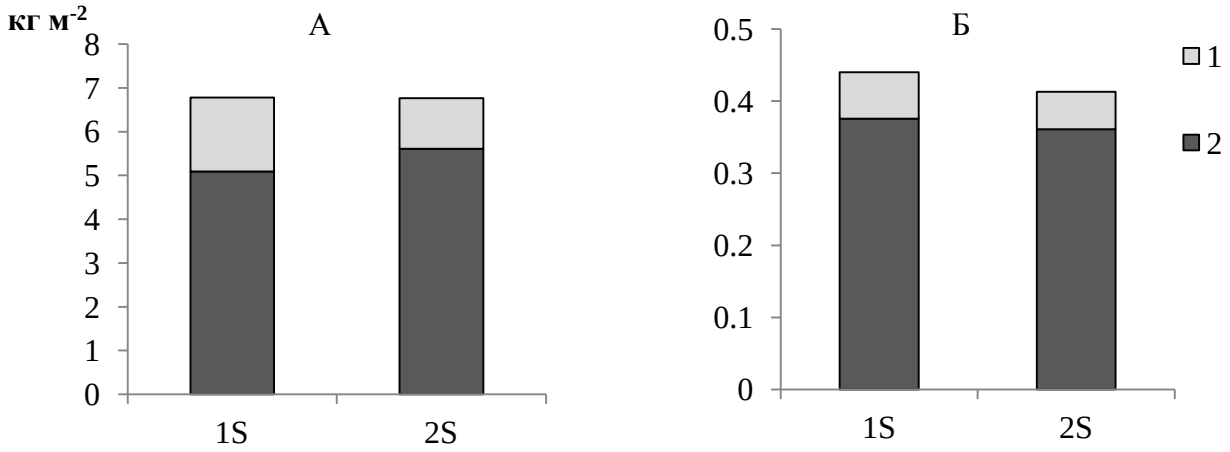


Рисунок 5.6. Запасы углерода (А) и азота (Б) в почвах ельников чернично-зеленомошных (до глубины 50 см). 1 – запасы, сосредоточенные в подстилках, 2 – запасы, сосредоточенные в минеральных горизонтах.

Оценка изменений запасов углерода и азота в почвах полугидроморфных ландшатфтов не проводилась, поскольку пирогенное воздействие имеет неоднородное площадное влияние на почвенный покров и требует детального учета площадей участков с полностью выгоревшей постилкой.

В целом, необходимо констатировать, что основными закономерностями изменения запасов углерода при пожарах следует считать уменьшение запасов углерода и азота сосредоточенного в подстилочных горизонтах, при некотором (в зависимости от характеристик пожара) возрастании запасов в верхних минеральных горизонтах.

5.4.3. Амфифильность щелочерастворимого органического вещества

Состав щелочерастворимого органического вещества был оценен с использованием жидкостной хроматографии гидрофобного взаимодействия (ЖХГВ), позволяющей разделить органические соединения почв в зависимости от проявления амфифильных свойств. Представлено профильное распределение фракций, по значениям в максимуме пиков (рис. 5.7-5.9) и относительная доля, рассчитанная по отношению площадей пиков (табл. 5.2).

Исследование амфифильности щелочерастворимого органического вещества условно-фоновых почв показало типичное для почв подзолистого типа распределение амфифильных фракций по профилю, характеризуемое хорошо выраженной пространственной разобщенностью зоны формирования ГВ и

горизонтов реализации их функциональной активности (Милановский, 2009). Состав щелочерастворимого органического вещества органогенных и минеральных горизонтов существенно отличается. В составе органических веществ, экстрагируемых из подстилок, преобладают соединения первой фракции, представленные наиболее гидрофильными соединениями. Соединение наиболее гидрофильных соединений минимально в подстилках сосняков лишайниковых (1L) (рис. 5.7). Щелочерастворимое вещество почв сосняков бруснично-зеленомошных и ельников чернично-зеленомошных характеризуется более высокими значениями (рис. 5.8-5.9). Второй по содержанию является вклад четвертой фракции, представленной лигниноподобными соединениями. В относительном выражении доля лигниноподобных органических веществ составляет 30-35 % от общего содержания щелочерастворимых органических соединений в подстилках сосняков лишайниковых, 25 % в сосняках бруснично-зеленомошных и около 30 % в ельниках зеленомошных (табл. 5.2). Элювиальные горизонты почв условно-фоновых ландшафтов характеризуются существенным уменьшением содержания всех фракций (рис. 5.7-5.9), при доминировании гидрофильных соединений в относительном содержании фракций, приводящего к высокому значению показателя степени гидрофильности. Иллювиальные горизонты характеризуются возрастанием наиболее гидрофобных соединений. Наиболее наглядно это прослеживается при анализе соотношения гидрофильных и гидрофобных органических соединений (Dh) (табл. 5.2). Наибольшее относительное содержание гидрофобных веществ выявлено для иллювиально-железистых горизонтов в подзолах (1L и 1BM) и текстурных горизонтов подзолистой почвы (1S).

Пирогенное воздействие влияет на свойства щелочерастворимого почвенного органического вещества. Наиболее наглядно это прослеживается в первые месяцы после пирогенного воздействия. Исследование амфифильности органического вещества почвы разреза 2BM (50 дней после пожара) показало, что в подстилке наблюдается уменьшение первой, наиболее гидрофильной фракции, при некотором возрастании содержания второй фракции. Вероятно, это связано с уменьшение доли низкомолекулярных и амидпроизводных кислот. Возрастает доля лигниноподобных соединений четвертой фракции. Вместе с тем, степень

гидрофильности в подгоризонте подстилки, не подвергавшейся прямому пирогенному воздействию, остается близкой к соответствующему горизонту фонового участка. В подзолистом горизонте Epyr, так же как в соответствующем горизонте условно-фонового участка, наблюдается минимальное содержание всех амфифильных фракций. Но при этом, существенно изменяется значение показателя Dh, по сравнению с соответствующим горизонтом условно-фонового участка, благодаря увеличению содержания гидрофильных фракций. В горизонте Bhi, pyr так же наблюдается увеличение наиболее гидрофильной фракции, что на фоне доступных свободных форм железа приводит к возрастанию фракции связанной железом (фр. 5). В горизонте BF1 выявлено изменение показателя Dh, 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, а так же их дериватами.

В почвах сосняков лишайниковых, пройденных пожарами 2 и более лет назад, состав амфифильных фракций восстанавливается, и становиться близким к условно-фоновым почвам. Восстановление наиболее гидрофильных фракций происходит за счет свежего опада. Пирогенные горизонты характеризуются отличными значениями, но при этом в ходе сукцессии происходит возрастание наиболее гидрофильных соединений (рис. 5.7-5.8).

Анализ результатов по гидрофильным и гидрофобным свойствам органического вещества почв ельников, подвергнувшихся пожару, позволил выявить, что рассматриваемые почвы имеют некоторые различия в профильном распределении амфифильных фракций и их относительном вкладе в состав ПОВ. Для почв всех рассматриваемых растительных сообществ наблюдается близкое распределение большинства амфифильных фракций. Максимальное содержание амфифильных фракций выявлено в подстилках.

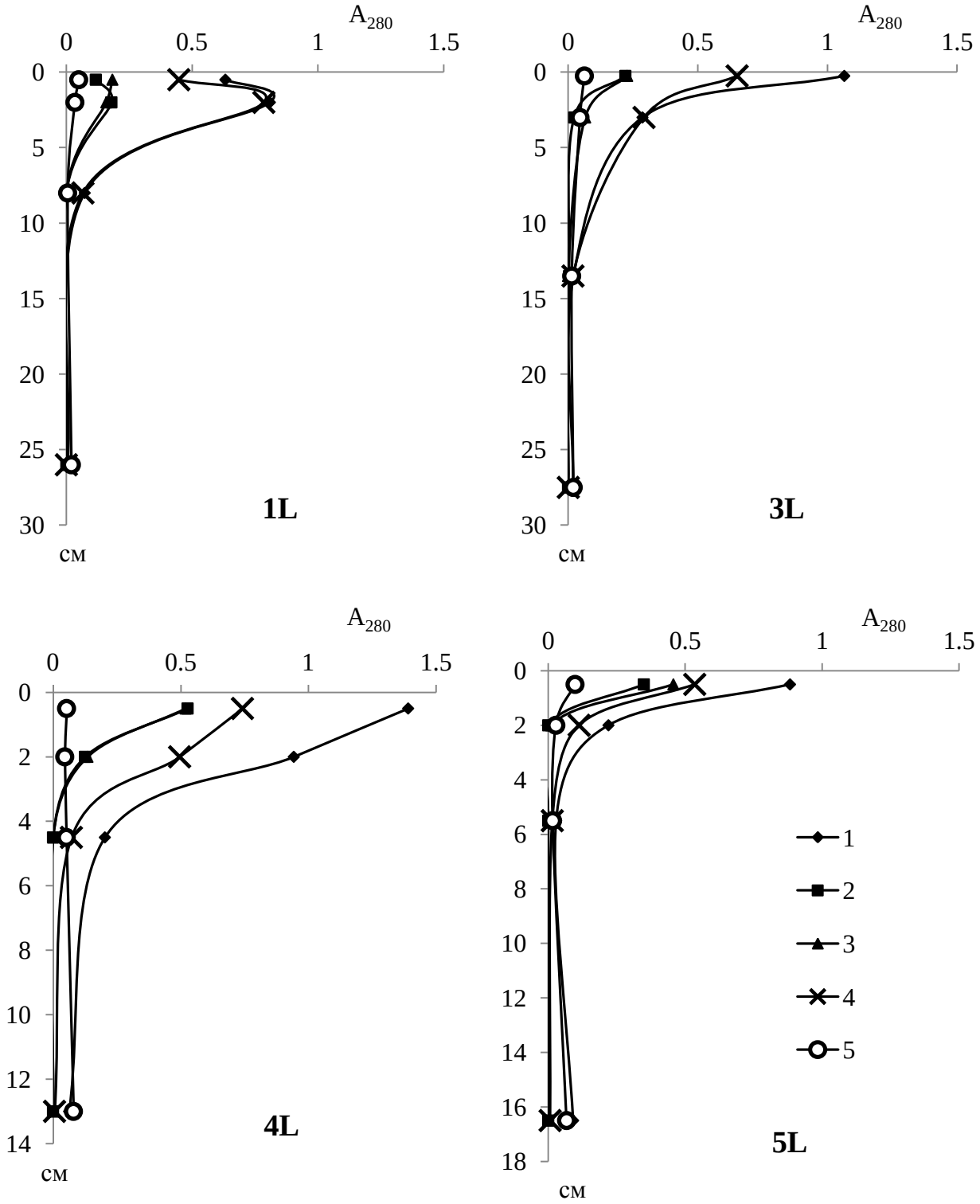


Рисунок 5.7. Распределение хроматографических фракций в верхних горизонтах сосняков лишайниковых. Обозначения: 1L – сосняк лишайниковый; 3L – два года после пожара; 4L – 10 лет после пожара; 5L – 16 лет после пожара.

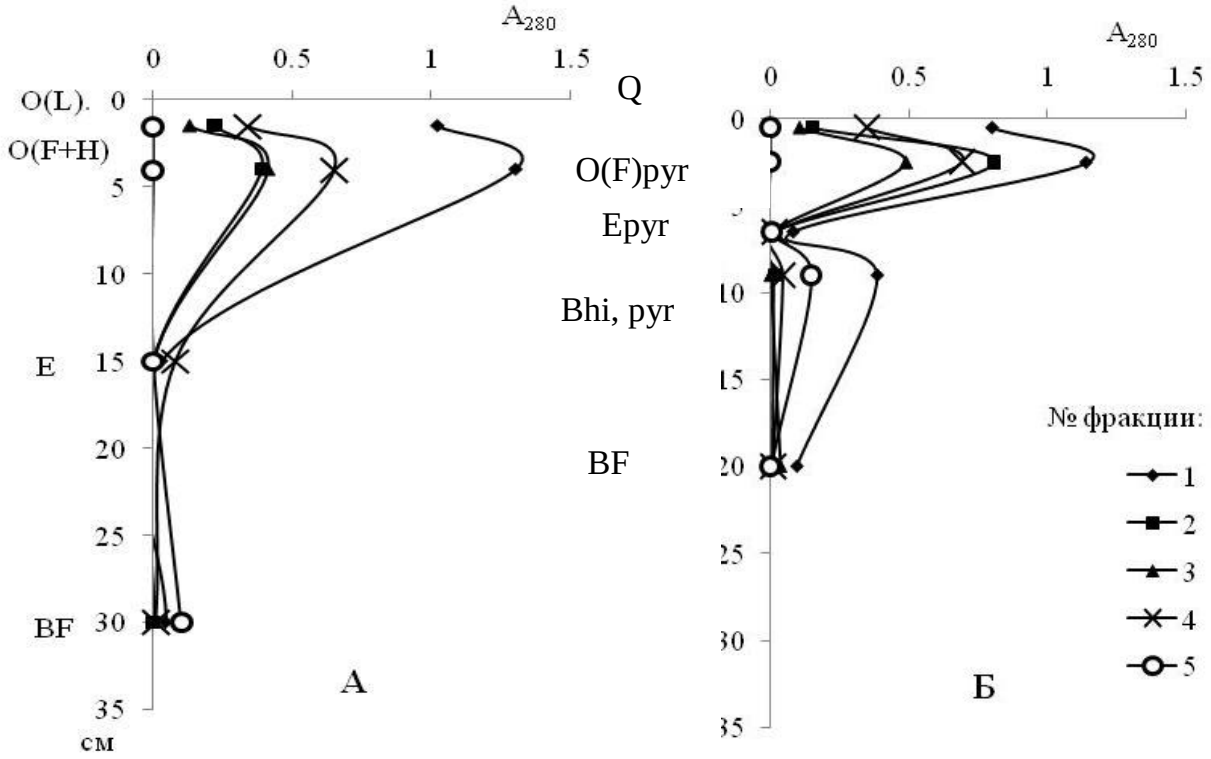


Рисунок 5.8. Распределение хроматографических фракций в верхних горизонтах. А – разр. 1ВМ (условно-фоновый), Б – разр. 2ВМ (постпирогенный).

Органическое вещество элювиальных горизонтов почвы постпирогенного фитоценоза (2S) и ельника (1S), сохранившегося вблизи пожара, отличается высокой относительной долей третьей гидрофобной фракции. Распределения амфифильных фракций по профилю почвы постпирогенного молодняка носят близкий к почве условно-фонового участка характер, но иллювиирование гидрофильных соединений в горизонт BF выражено слабее. В горизонте BF существенно выше концентрация гидрофобных фракций, связанных с железом и алюминием.

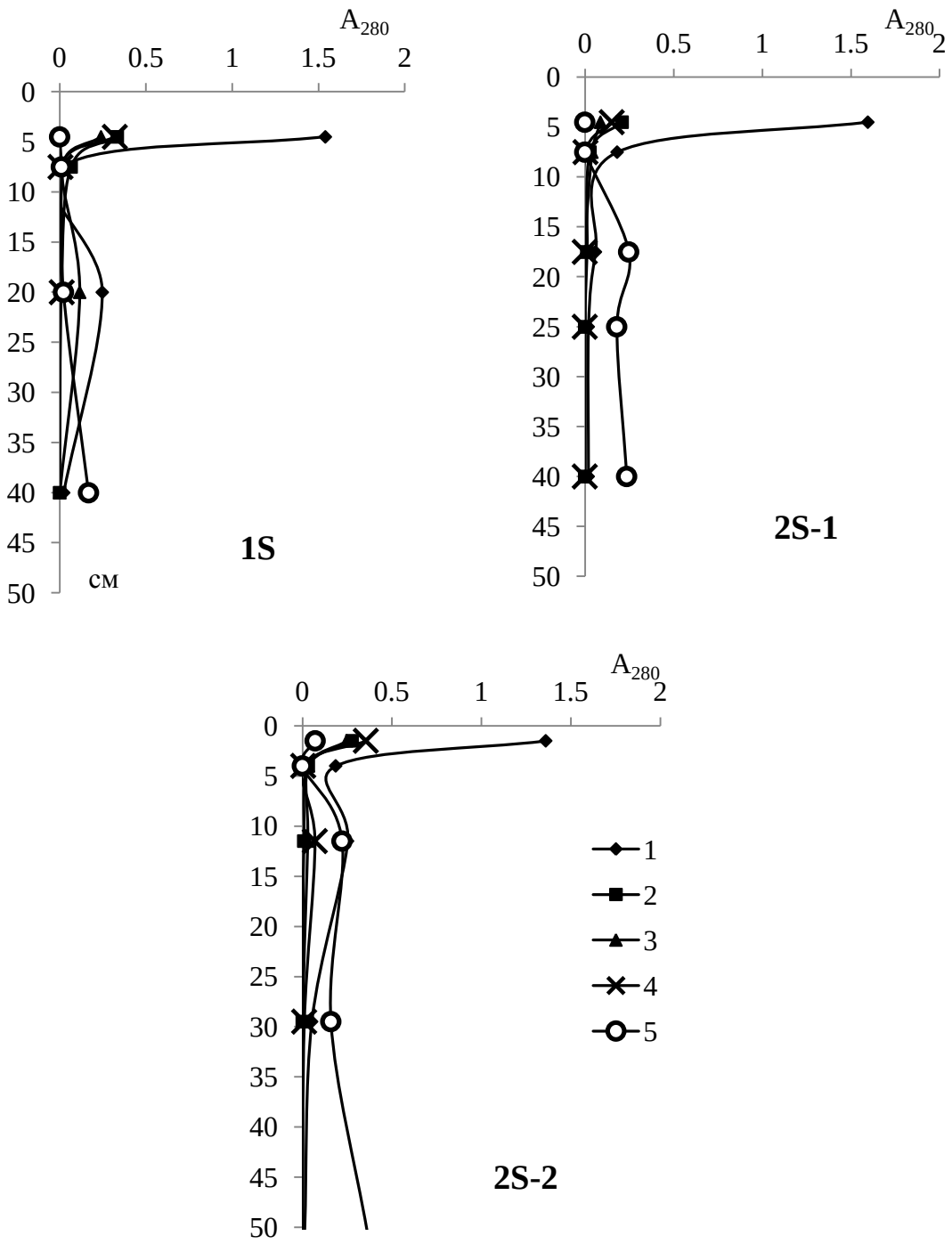


Рисунок 5.9. Распределение хроматографических фракций в верхних горизонтах. 1S (условно-фоновая почва), 2S – (окраина гари постпирогенный); 2S-2 – центр гари (9 лет после пожара).

Таблица 5.2. Относительное содержание амфифильных фракций органического вещества и степень гидрофильности (D_h)

Разрез	Гори-зонт	Глубина, см	Сщ., %	Номер фракции					D_h
				1	2	3	4	5	
Сосняки лишайниковые									
1L	O(L)	0-1	6.2	37.3	13.1	15.2	35.5	1.7	1.0
	O(F+H)	1-3	7.5	44.5	14.2	9.5	30.5	1.1	1.4
	E	3-13	0.16	39.1	0	0	42.9	17.9	0.6
	BF	13-45	0.04	17.1	0	0	4.7	78.2	0.2
3L	O(L)	0-0.5	6.9	40.8	15.7	13.5	29.2	0.8	1.3
	Qpyr.	0-6(12)	0.92	41.9	10.4	10.1	35.4	2.1	1.1
	E	12-15	0.082	13.5	10.1	0	46.5	29.8	0.3
	BF	15-40	0.07	52.7	0	0	3.3	44.0	1.1
4L	O(L)	0-1	11.5	35.9	12.0	23.0	28.0	0.9	0.9
	Qpyr./L	1-3	1.26	50.3	13.4	10.1	24.7	1.3	1.8
	E	3-6	0.15	61.2	0	0	25.4	13.3	1.6
	BF	6-20	0.15	40.7	0	0	4.4	54.8	0.7
5L	Qpyr./L	0-1	12.3	32.1	9.7	23.1	33.8	1.6	0.7
	Qpyr.	1-3	0.78	57.7	0	4.8	31.2	6.1	1.4
	E	3-8	0.076	44.3	0	0	32.4	23.1	0.8
	BF	8-25	0.221	48.9	0	0	5.7	45.2	1.0
Сосняки бруснично-зеленомошные									
1BM	O(L)	0-3	6.10	49.5	9.7	13.7	25.0	2.1	1.5
	O(F+H)	3-5	8.07	34.5	16.0	22.6	25.5	1.2	1.0
	E	5-25	0.050	82.2	–	–	15.4	2.4	4.6
	BF	25-60	0.044	15.3	–	–	6.9	77.8	0.2
2BM	Qpyr /L	0-1	4.0	42.8	12.9	13.6	29.7	0.8	1.3
	O(F)pyr	1-4	8.4	29.0	20.2	20.2	30.1	0.6	1.0
	Epyr	5-8	0.174	60.3	5.9	7.6	21.7	4.5	2.0
	Bhi, pyr	8-10	0.38	58.5	1.7	4.2	16.6	19.0	1.5
	BF	10-20(30)	0.233	49.6	3.8	34.6	8.9	3.2	1.1
Ельник чернично-зеленомошный									
1S	O(L)	0-1	9.23	36.6	6.5	17.5	30.4	8.9	0.8
	O(F)	1-4	10.7	28.0	14.0	24.3	32.5	1.1	0.7
	O(H)	4-5	9.14	27.7	13.9	24.8	32.5	1.1	0.7
	EL	5-10	0.26	49.6	25.3	6.5	16.8	1.9	3.0
		10-15	0.49	44.1	21.0	21.2	12.9	0.9	1.9
	BEL	15-25	0.19	52.3	1.2	35.4	4.9	6.3	1.2
	BT1	25-55	n.d.	16.2	2.9	15.2	6.5	59.3	0.2
	BT2	55-80		16.5	2.6	6.1	10.9	63.9	0.2
Ельник геохимически подчиненного участка									
2S	O(L+F)	0-4	Н.о.	42.3	8.3	19.3	28.7	1.4	1.0
	O(H)	4-5		56.6	8.1	14.2	20.1	1.0	1.8
	EL	5-10(12)		39.7	8.8	44.3	6.2	0.9	0.9
	BF1	10(12)-15		30.2	6.9	3.2	41.8	17.9	0.6

	BF2	15-20		30.1	4.9	6.0	3.2	55.9	0.5
	BEL	20-30		18.7	0.8	12.6	4.7	63.2	0.2
	Bt1	30-50		14.2	1.4	11.8	4.2	68.3	0.2
	Bt2	50-80		2.6	2.0	1.1	4.2	90.0	0.0
Лиственный постпирогенный молодняк									
2S	Opyr	0-3	5.6	46.3	9.0	19.2	23.3	2.0	1.2
	ELpyr	3-5(8)	0.25	47.8	9.6	33.1	8.6	0.9	1.4
	ELf	5(8)-18	0.32	52.0	1.2	17.1	6.3	23.4	1.1
	BEL	18-41	0.077	22.6	3.3	15.8	6.9	51.4	0.3
	BT1	41-60	n.d.	4.6	0.3	2.8	3.9	88.4	0.1
	BT2	60-80		3.8	8.8	4.0	5.8	77.7	0.1

Примечание: прочерк – не обнаружено, н.о. – не определяли.

Анализ результатов по гидрофильным и гидрофобным свойствам органического вещества почв ельников, подвергнувшихся пожару, позволил выявить, что рассматриваемые почвы имеют некоторые различия в профильном распределении амфифильных фракций и их относительном вкладе в состав ПОВ (табл. 5.2). Для почв всех рассматриваемых растительных сообществ наблюдается близкое распределение большинства амфифильных фракций. Максимальное содержание амфифильных фракций выявлено в подстилках. Влияние пожара на особенности щелочерастворимого органического вещества сглаживается в ходе развития послепожарной сукцессии, обусловливающей изменение качественного и количественного состава растительного опада, поступающего на поверхность почв, что вероятно, связано с быстрым восстановлением микробиологических свойств почв (Knicker et al., 2011). Последствия пожара проявляются в снижении концентрации всех амфифильных фракций в подстилке почвы постпирогенного молодняка (2S), что согласуется с содержанием общего углерода, а также изменением содержания водорастворимых органических соединений при пожарах (Прокушкин и др., 2011).

Органическое вещество элювиальных горизонтов почвы постпирогенного фитоценоза и ельника, сохранившегося вблизи пожара, отличается высокой относительной долей третьей гидрофобной фракции, вероятно, так же связанной с деструкцией природных биополимеров и формированием левиглюкосанов (Knicker et al., 2013). Распределения амфифильных фракций по профилю почвы постпирогенного молодняка (2S) носят близкий к почве условно-фонового участка (1S) характер, но иллювиирование гидрофильных соединений в горизонт BF

выражено слабее. В горизонте BF существенно выше концентрация гидрофобных фракций, связанных с железом и алюминием.

Данные по амфифильности почвенного органического вещества постпирогенных почв совпадают с результатами, полученными в ходе лабораторного эксперимента по сжиганию растительного опада (Alexis et al., 2010), показавшими, на основании данных ЯМР-спектроскопии, уменьшение кислотных и амид-содержащих групп, увеличение содержания производных лигнина, а так же возрастании ароматичности органического вещества. Вероятно, непосредственно после пожара в почвах уменьшается содержание гидрофильных органических соединений, возрастает содержание гидрофобных соединений. При этом существенную роль оказывает время, прошедшее после пожара. Известно, что в течении первых месяцев после пожара происходит модификация пирогенного органического вещества, заключающаяся в формировании кислородсодержащих функциональных групп, уменьшении арилпроизводных (Knicker, 2011).

5.4.4. Содержание и состав денсиметрических фракций

Оценка влияния пожара на распределение углерода в различных денсиметрических фракциях приведена для верхних горизонтов подзолов иллювиально-железистых формирующихся под сосняками лишайниковыми (L).

Таблица 5.3. Содержание углерода и азота в денсиметрических фракциях верхних горизонтов сосняков лишайниковых

Лет после пожара (участок)	Фракция	Горизонт	Масса, %	C	N	C:N
				г кг$^{-1}$		
Условно-фоновый (1L)	$СОВ_{<1.6}$	E	1.20±0.6	369±12	6.7±1.2	64
		BF	0.100±0.005	149±5	66±4	3
	$ООВ_{<1.6}$	E	0.40±0.02	228±7	4.0±0.7	67
		BF	0.1±0.005	26±5	6.4±1.2	5
	$ТФ_{1.6-2.2}$	E	1.0±0.05	93±17	3.7±0.6	29
		BF	0.9±0.045	24±4	2.3±0.4	12
	$ТФ_{>2.2}$	E	97.5±4.9	0.3*	0.02*	18
		BF	98.7±4.9	0.6*	0.07*	10
Пирогенные участки						
2(3L)	СОВ	Qpyr	7.1±0.4	438±14	12.2±2.2	42
10 (4L)			7.9±0.4	442±14	8.2±1.5	63
16(5L)			3.4±0.2	422±14	8.3±1.5	59
2(3L)	ООВ	Qpyr	2.0±0.1	322±10	9.1±1.6	41

10 (4L)			2.5±0.1	329±11	6.7±1.2	57
16(5L)			1.9±0.1	415±13	8.7±1.6	56
2(3L)			2.3±0.2	96±17	5.4±1.0	21
10 (4L)	$ТФ_1$	Qpyr	1.8±0.1	150±5	5.0±0.8	35
16(5L)			3.0±0.15	96±10	4.5±0.8	25
2(3L)			88.6±4.0	0.3*	0.02*	18
10 (4L)	$ТФ_2$	Qpyr	87.6±4.0	0.3*	0.02*	18
16(5L)			91.7±5.0	0.4*	0.02*	23

* – результаты ниже предела определения.

Денсиметрическое фракционирование горизонтов E и BF почвы условно-фонового участка (1L) показали, что основную долю (97-98 % масс.) составляют тяжелые фракции с плотностью более 2.2 гсм$^{-3}$ ($ТФ_{>2.2}$), содержание фракции свободного органического вещества ($СОВ_{<1.6}$) и окклюдированного материала ($ООВ_{<1.6}$) крайне низкое. Несмотря на это, преобладающий вклад в общее содержание углерода вносят именно фракции $СОВ_{<1.6}$ и $ООВ_{<1.6}$, поскольку они характеризуются более высокими концентрациями углерода и азота. Минеральные горизонты почв лесов, пройденных пожарами, характеризуются изменениями в содержании углерода и азота отдельных денсиметрических фракций. Увеличивается массовая доля фракции $СОВ_{<1.6}$ до 3-8 % масс., доля фракции $ООВ_{<1.6}$ возрастает до 1.8-2.4 % масс.. Оценка распределения содержания углерода и азота во фракциях $СОВ_{<1.6}$ и $ООВ_{<1.6}$ пирогенных почв показала, что концентрации углерода в них составляет – 32-44 %, азота – от 0.7 до 1.2 % (табл. 5.3.).

Фракции свободного органического вещества в значительной степени обогащена пирогенными продуктами горения, и частичного окисления продуктов горения. Во фракциях свободного и окклюдированного органического вещества содержатся высокие концентрации углерода до 32.2-43.8 %. Диагностическим является отношение C:N. Наиболее низкое отношение было выявлено для фракции СОВ участка двухлетнего горельника. В почвах 10 и 16 летних горельников наблюдаются близкие по сравнению с почвой условно-фонового участка C:N отношение. Выявлено, что возрастание углерода в минеральных горизонтах почв в существенной степени связанно с пирогенными соединениями, находящимися в свободном, несвязанном состоянии (рис. 5.10). Схожие данные об увеличении пирогенного углерода входящего во фракции свободного и окклюдированного ОВ

мы находим у Llorente с соавт. (2010) и Brodowski с соавт. (2006). Вероятно, существенную роль будет оказывать время прошедшее после пожара, и возможность образования органоминеральных комплексов с железом и алюминием (Glaser et al., 2000). Пожары на легких песчаных почвах в условиях хорошего дренажа и промывного режима не способствуют закреплению пирогенного углерода в верхних минеральных горизонтах в виде прочных органоминеральных комплексов. Вероятно, наибольшая часть формирующихся при пожарах продуктов горения мигрирует в поверхностные водоемы в первые сезоны после пожара. В верхней части почвенных горизонтов остаются наименее растворимые, наиболее гидрофобные продукты пожаров. Это косвенно подтверждается рядом лабораторных экспериментов по сжиганию растительных компонентов содержащих целлюлозы, лигнины и других биополимеров.

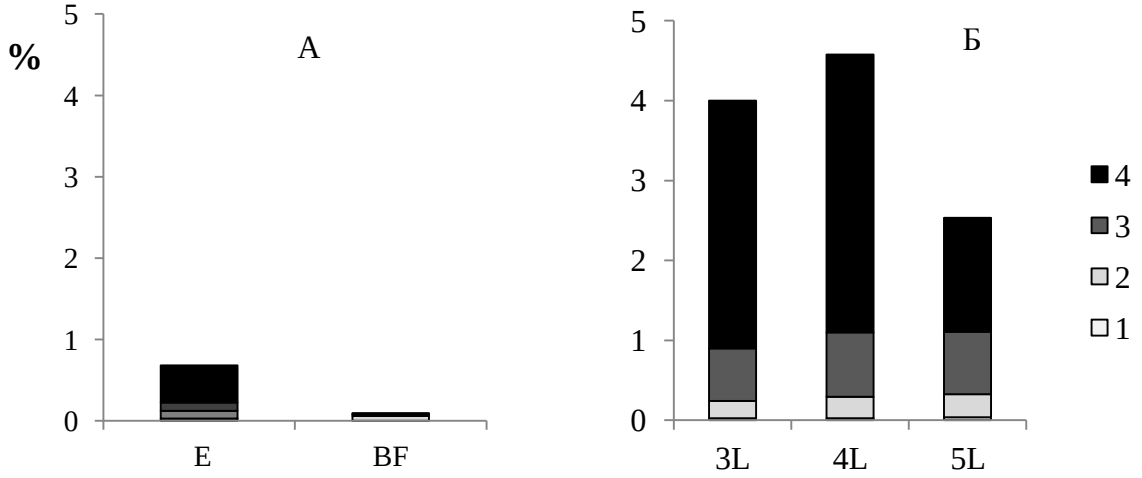


Рисунок 5.10. Вклад углерода отдельных денсиметрических фракций верхних генетических горизонтов в общее содержание углерода. Обозначения: А – подзол иллювиально-железистый (1L), Б – почвы сосняков лишайниковые, после пожара 2(3L), 10(4L) и 16 (5L) –летней давности; 1 –ТФ$_{>2.2}$; 2 –ТФ$_{1.6-2.2}$; 3 – ООВ$_{<1.6}$; 4 –СОВ$_{<1.6}$.

5.4.5. Краевой угол смачивания почв и денсиметрических фракций

Одним из наиболее экспрессных методов оценки свойств поверхности является оценка краевого угла смачивания (Bachmann et al., 2000; 2009; Atanassova, Doerr, 2011; Dlapa et al., 2008; Shang et al., 2008; Wu, 2001). Оценка краевого угла смачивания пирогенных почв показала существенные изменения в амфифильных свойствах поверхности почвенных образцов. Существенных изменений в свойствах органогенных горизонтах выявить не удалось, поскольку верхние подстилочные горизонты являются так же очень гидрофобными с краевым углом более или равным 120°.

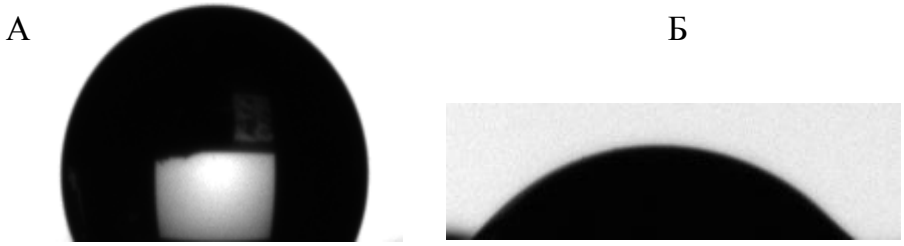


Рисунок 5.11. Пример гидрофобной (А) и гидрофильной (Б) поверхности.

При изучении пирогенных почв, наибольшие изменения были выявлены для верхних минеральных горизонтов. При сравнении краевого угла смачивания подзолистых горизонтов почв сосняка кустарничково-зеленомошного и сосняками, пройденными низовым устойчивым (50 дней после пожара) и низовым беглым (48 дней после пожара) пожарами выявлено, возрастание краевого угла смачивания в 1.9 – 1.6 раз. Схожие закономерности наблюдаются и в иллювиально-железистых горизонтах – значения краевого угла смачивания возрастают в 4.9 – 5.5 раза (рис. 5.12-5.13).

Оценка краевых углов смачивания подзолистого горизонта условно-фоновой почвы и почвы, пройденной пожаром 9 лет назад, не выявила каких-либо изменений. Краевой угол смачивания подзолистого горизонта пирогенной почвы имеет несколько более высокие значения (45,8°), но при этом они сравнимы с соответствующим горизонтом условно-фоновой почвы (41,8°). И при этом, потечно-гумусовый горизонт условно-фоновой почвы обогащенный органическим

веществом, характеризуется более высоким значением краевого угла смачивания (77°).

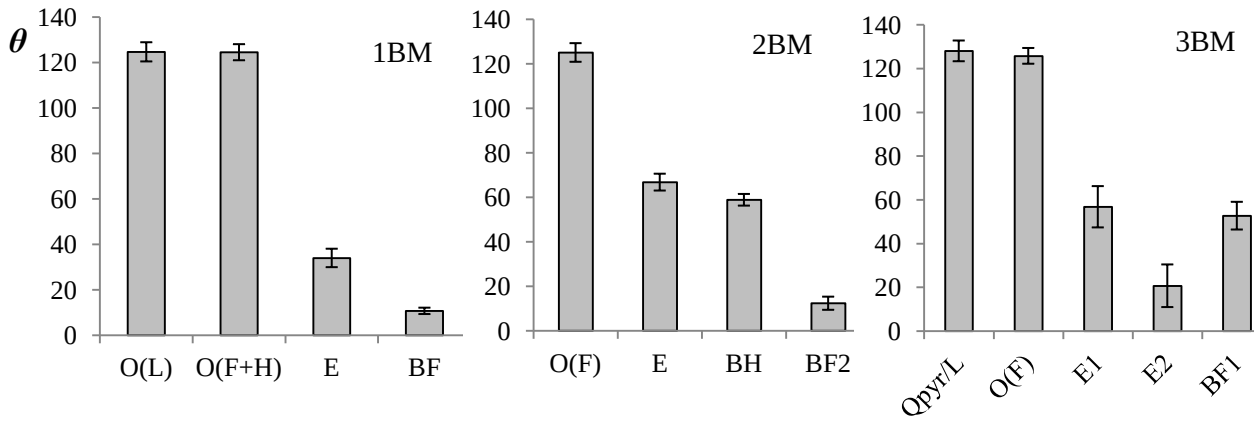


Рисунок 5.12. Краевой угол смачивания подзола иллювиально-железистого, формирующегося под сосняком бруснично-зеленомошным (1BM), пирогенными подзолами (2BM, 3BM). (n=10), интервал погрешности – среднеквадратичное отклонение

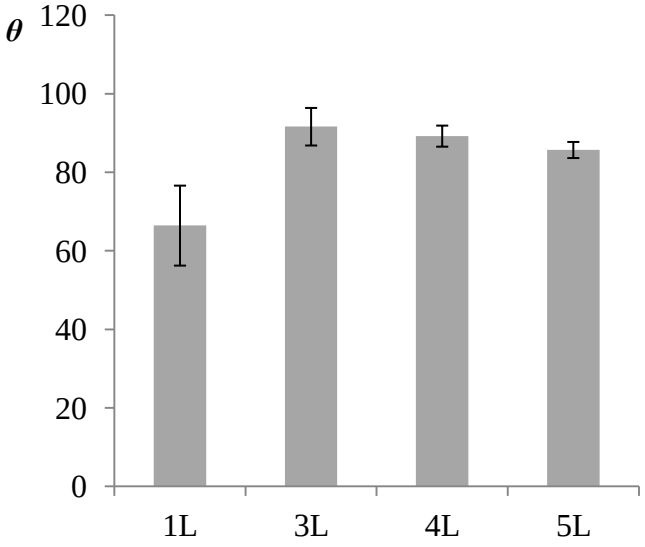


Рисунок 5.13. Краевой угол смачивания верхних минеральных горизонтов почв сосняков лишайниковых. (n=10), интервал погрешности – среднеквадратичное отклонение.

Оценка краевых углов смачивания подзолов иллювиально–железистых формирующихся под сосняками лишайниковыми, и пирогенных участков пройденных пожарами 2, 10- и 16 лет назад показала, что наибольшие различия характерны для верхних пирогенных горизонтов (рис. 5.13). В них наблюдается существенное возрастание гидрофобности почвенных горизонтов по сравнению с элювиальным горизонтом условно-фонового участка. При этом в ходе постпирогенных сукцессий растительности наблюдается постепенное снижение

краевого угла смачивания в данных горизонтах. Возрастание гидрофобности подзолистого и иллювиального горизонта, выявленного в первые месяцы после пожаров, в условиях промывного режима сглаживается и нивелируется. Изучение краевых углов смачивания денсиметрических фракций показало. Что наибольшей гидрофобностью характеризуются легкие фракции: фракция

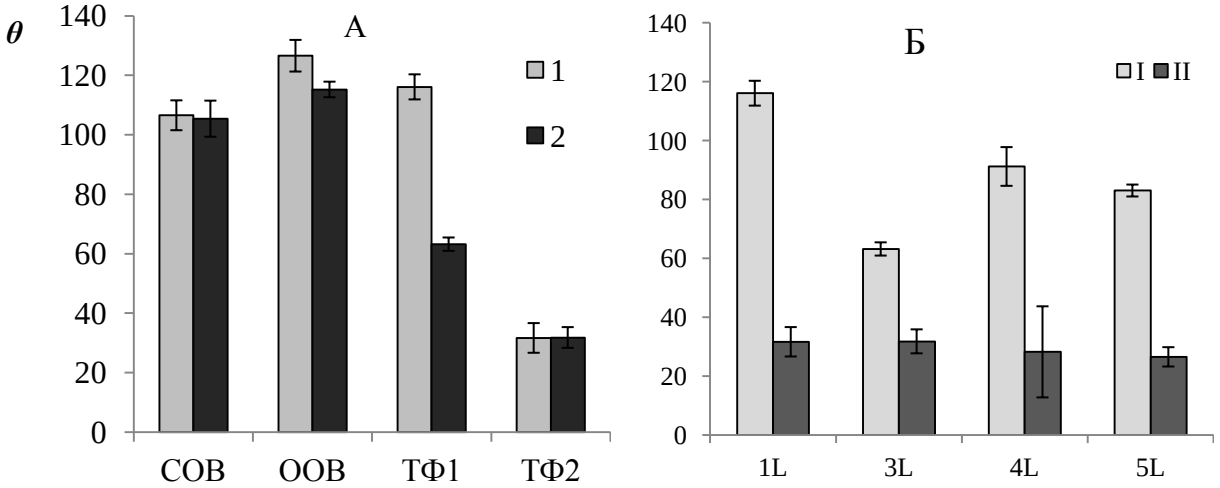


Рисунок 5.14. Краевой угол денсиметрических фракций условно-фонового участка (А): 1 – гор. Е, 2 – пирогенный горизонт (Qpyr) двухлетнего горельника (3L). Краевой угол смачивания тяжелых фракций (Б) ((I – $ТФ_{1.6-2.2}$, II – $ТФ_{>2.2}$) в пирогенных почвах сосняков лишайниковых

свободного органического ($СОВ_{<1.6}$) и окклюдированного ($ООВ_{<1.6}$) вещества, как в естественных, так и в почвах подвергнувшихся пожару (рис. 5.14А). Существенных различий в краевом угле смачивания рассматриваемых денсиметрических фракций

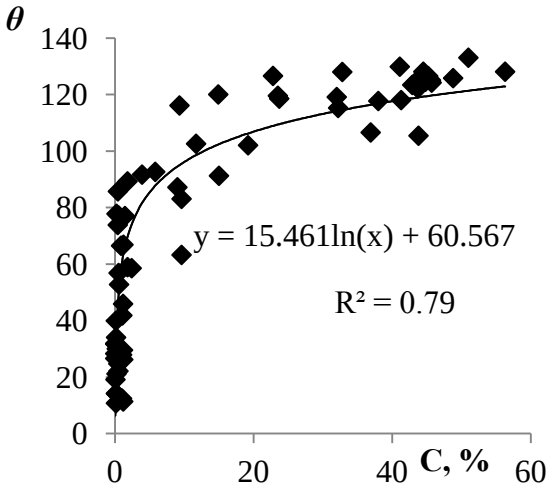


Рисунок 5.15. Зависимость краевого угла смачивания почв и денсиметрических фракций от содержания углерода (n=65).

в зависимости от пирогенного воздействия выявить не удалось. Фракции свободного и окклюдированного ОВ как условно-фоновой, так и почвы сосняка пройденного пожаром два года назад имеют близкие значения для большинства фракций. Но при этом, если рассмотреть отдельно изменение гидрофильности тяжелых фракций (5.14Б), то краевой угол наиболее тяжелой фракции в ходе вторичной

постпирогенной сукцессии так, же остается практически неизменным. В ходе восстановления растительности наблюдается постепенное возрастание угла смачивания фракции $HF_{1.6-2.2}$ (рис. 5.14Б). При этом краевой угол смачивания в значительной степени определяется содержанием углерода поверхности твердой фазы (рис. 5.15).

5.4.6. Содержание ПАУ в почвах гарей и горельников

В почвах гарей и горельников определяли содержание полициклических ароматических соединений (ПАУ). ПАУ образуются, главным образом, при пиролизе хвойной древесины, содержащей лигнины (Цибарт, Геннадиев, 2011; Геннадиев, Цибарт, 2013). Считается, что ПАУ обладают канцерогенными и мутагенными свойствами (Ravinda et al., 2006). Нормирование компонентов окружающей среды в Российской Федерации принято проводить по бенз[а]пирену (БП). В отдельных работах (Denis et al., 2012) отмечается, что легкие ПАУ, сосредоточенные в донных озерных отложениях (флуорантен, пирен и бенза[а]нтрацен), являются веществами, свидетельствующими о былых пожарах, в то время как содержание тяжелых ПАУ говорит об интенсивности пожара. Существуют соотношения отдельных ПАУ, которые могут свидетельствовать об их происхождении (Yunker et al., 2002).

В целом, состав полиаренов почв условно-фоновых участков является типичным для почв таежной подзоны (Габов и др., 2008; Безносиков, Габов, 2017). Полученные нами данные по составу ПАУ, существенно выше фоновых концентраций, приведенных другими авторами для южной Франции (Vergnoux et al., 2011).

В подзоле иллювиально-железистом, развивающемся под сосняком лишайниковым, выявлено, что полиарены аккумулируются в лесной подстилке, минеральные горизонты характеризуются низким содержанием. В верхнем подгоризонте подстилки O(L) доминируют двух- и трехядерные соединения, в основном представленные флуореном и фенантреном. Нижние подгоризонты подстилок являются геохимическим барьером для полиаренов. В минеральных

горизонтах доминируют флуорен и фенантрен, которые являются одними из наиболее водорастворимых.

В почвах сосняков лишайниковых (3L, 4L, 5L), подвегнувшихся пожарам наблюдается увеличение ПАУ в верхнем подгоризонте подстилки O(L)pyr (табл. 5.4). Общее содержание полиаренов в постпирогенных почвах в 2-9 раза выше по сравнению с почвой условно-фонового ландшафта. В подгоризонте участка 3L наблюдается возрастание содержания флуорена, пирена, бензаантрацена и нафталина. Общее содержание ПАУ в девять раз выше по сравнению с почвой условно-фонового участка. Можно предположить, что пирогенные ПАУ включились в состав ПОВ и миграционные процессы.

Продукты горения, такие как сажа, угольная пыль и индивидуальные органические компоненты, образующиеся при пожаре и способные к водной миграции, обогащают минеральные горизонты углеродом и азотом. Темноокрашенная зола и недоокисленные продукты горения сохраняющиеся на поверхности почвы после пожаров могут приводить к возрастанию общего содержания углерода в почвах (Santin et al., 2013; Bodi et al., 2014), обычно они образуются при температуре 300-500 ºС.

В почве сосняка бруснично-зеленомошного условно-фонового участка наблюдается аккумуляция полиаренов в подстилках и низкое содержание в минеральных горизонтах. В составе ПАУ верхнего подгоризонта подстилки O(L) доминируют 3-х ядерные соединения, а в их составе преобладает фенантрен. Нижняя часть подстилки является основным геохимическим барьером в рассматриваемых почвах, поскольку в ней определены максимальное суммарное содержание полиаренов. В минеральных горизонтах присутствуют лишь следовые количества, преимущественно легких 3-х и 4-х ядерных ПАУ. Наиболее высокие концентрации выявлены для фенантрена, обладающего относительно высокой растворимостью в воде.

Влияние пожаров на содержание ПАУ в почве сосняка (2BM) проявилось в существенном увеличении концентрации рассматриваемых компонентов в пирогенном подгоризонте подстилки (рис. 5.16). Общее содержание ПАУ в нем составило 1910 нг $г^{-1}$. При этом произошло увеличение как легких (2-3-х ядерных полиаренов), так и более тяжелых соединений по сравнению с фоновым участком.

В горизонте Opyr(L) наиболее существенно возросли концентрации хризена, флуорена, нафталина, пирена и антрацена. Общее содержание ПАУ в ферментативном подгоризонте подстилки O(F)pyr несколько возросло после пожара, по сравнению с фоновым участком, при этом изменился качественный состав – возросла доля 2-х и 3-х ядерных ПАУ за счет флуорена, нафталина (Табл. 5.5). Несмотря на то, что с момента пожара произошло всего около двух месяцев, в горизонте Bhi(pyr) наблюдается увеличение общего содержания полиаренов, вероятно за счет водной миграции. При этом только небольшая часть ПАУ адсорбируется на поверхности твердой фазы почв в составе верхних минеральных горизонтов (Геннадиев и др., 1996).

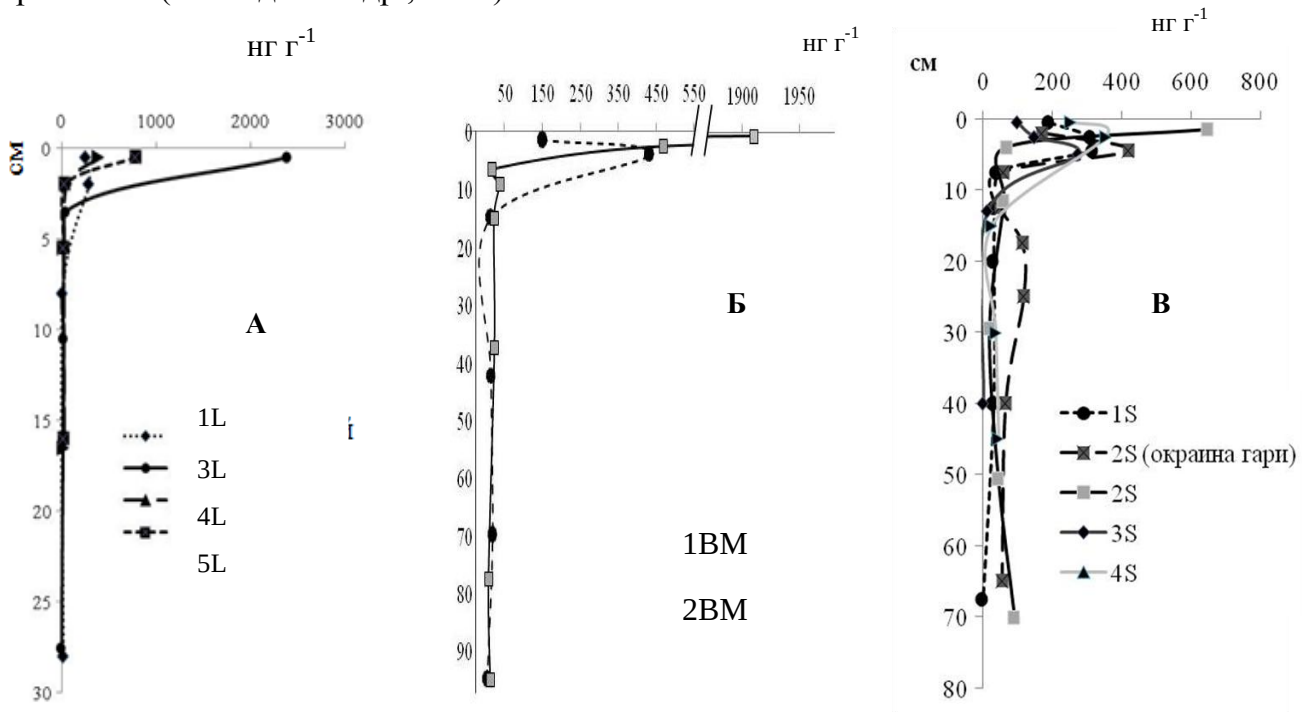


Рисунок 5.16. Массовая доля ПАУ (сумма 15 индивидуальных ПАУ) в исследуемых почвах. А – почвы сосняков лишайниковых; Б – почвы сосняков бруснично-зеленомошных; В – почвы ельников чернично-зеленомошных. Обозначения участков как в таблице 5.1.

Таблица 5.4. Содержание ПАУ в почвах сосняков лишайниковых, нг $г^{-1}$ почвы

Горизонт	Глубина, см	2-ядерные			3-ядерные		4-ядерные				5-ядерные				6-ядерные	
		НАФТ	АЦЕ	ФЛУ	ФЕН	АНТ	ФЛА	ПИР	БаАНТ	ХРИ	БbФЛА	БkФЛА	БаПИР	ДБahАНТ	BghiПЕР	ИПИР
Сосняк лишайниковый, 1L																
O(L)	0-1	43±18	–	105±23	80±30	5.5±2.3	–	–	–	5.7±2.5	–	2.3±0.9	5.6±2.4	10±4	7±3	–
O(F+H)	1-3	35±15	13±4	108±24	113±20	5.0±2.1	–	–	–	3.2±1.4	–	–	2.8±1.2	10±4	–	–
E	3-13	–	–	9±3	6.8±2.8	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
BF	13-45	–	–	13±4	9±4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
2 года после пожара, 3L																
O (L)pyr	0-0.5	100±40	–	2200±300	80±30	2.8±1.2	–	24±9	7.1±2.5	–	–	1.1±0.5	10±4	–	–	–
Qpyr	0.5-6	–	–	32±11	10±4	–	–	–	–	–	1.3	1.5±0.6	1.1±0.5	–	–	–
E	6-15	–	–	16±5	9±4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
BF	15-40	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
10 лет после пожара, 4L																
O (L)	0-1	80±40	15±5	122±27	170±30	7.0±2.9	–	–	–	5.4±2.4	–	1.6±0.7	3.0±1.2	–	–	–
Qpyr	1-3	–	–	19±6	29±12	1.3±0.6	–	–	–	4.8±2.1	–	–	1.3±0.6	–	–	–
E	3-7	–	–	16±5	9±4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
BF	6-20	–	–	18±6	9±4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
16 лет после пожара, 5L																
O(L)	0-1	49±20	17±6	300±70	310±60	16±7	24±9	–	–	18±8	16±6	2.5±1.0	9±4	10±4	15±6	–
Qpyr	1-3	–	–	20±7	13±6	–	–	–	–	3.1±1.3	–	–	1.1±0.5	–	–	–
E	3-8	–	–	12±4	7.0±2.9	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
BF	8-25	–	–	11±4	8±3	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Сокращения, принятые в таблице: НАФТ – нафталин, АЦЕ – аценафтен, ФЛУ – флуорен, ФЕН – фенантрен, АНТ –антрацен, ФЛА – флуорантен, ПИР – пирен, БаАНТ – бенз[a]антрацен, ХРИ – хризен, БbФЛА – бенз[b]флуорантен, БkФЛА – бенз[k]флуорантен, БП – бенз[a]пирен, ДБahАНТ – дибенз[a,h]антрацен, BghiПЕР – бенз[ghi]перилен, ИПИР – индено[1,2,3-cd]пирен. Прочерк – ниже предела обнаружения ФЛА < 20, ПИР < 20, БаАНТ < 6, ХРИ < 3, БbФЛА < 6, БkФЛА < 1, БП < 1, ДБahАНТ < 6, BghiПЕР < 6, ИПИР < 6). ± – погрешность определения при P=0,95.

Таблица 5.5. Содержание ПАУ в подзолах сосняков бруснично-зеленомошных, нг г $^{-1}$почвы

Горизонт	Глубина, см	2-х ядерные			3-х ядерные		4-х ядерные				5-ти ядерные				6-ти ядерные	
		НАФТ	АЦЕ	ФЛУ	ФЕН	АНТ	ФЛА	ПИР	БаАНТ	ХРИ	БbФЛА	БkФЛА	БаПИР	ДБahАНТ	БghiПЕР	ИПИР
Почва сосняка бруснично-зеленомошного, 1ВМ																
O(L)	0-3	–	–	41±16	80±18	3.0±2.0	–	–	–	4.0±2.0	–	1.1±1.0	1.8±1.0	–	–	–
O(F+H)	3-5	70±30	–	42±17	93±21	5.0±2.0	–	–	1.8±0.5	140±50	35±15	2.5±1.0	12±6	–	–	11±5
E	5-25	–	–	–	8±4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
BF	25-60	–	–	–	14±7	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
BC	60-80	–	–	–	8±4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
C	80-110	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Почва постпирогенного сосняка бруснично-зеленомошного, 2ВМ																
Opyr /L	0-1	300±150	30±12	540±140	200±40	35±8	30±14	46±21	11±5	630±180	21±9	2.0±1.0	14±7	19±9	16±7	25±11
O(F)pyr	1-4	140±70	6.0±2.0	170±40	70±40	5.0±2.0	–	–	–	22±12	16±7	3.0±2.0	8±4	8±4	–	–
Epyr	5-8	–	–	–	11±6	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Bhi, pyr	8-10	–	–	18±7	10±5	–	–	–	–	6±3	–	–	–	–	–	–
BF1	10-20	–	–	–	11±6	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
BF2	20-55	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	9±4	–
BC	55-80	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
C	80-110	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Сокращения, принятые в таблице: НАФТ – нафталин, АЦЕ – аценафтен, ФЛУ – флуорен, ФЕН – фенантрен, АНТ – антрацен, ФЛА – флуорантен, ПИР – пирен, БаАНТ – бенз[a]антрацен, ХРИ – хризен, БbФЛА – бенз[b]флуорантен, БkФЛА – бенз[k]флуорантен, БП – бенз[a]пирен, ДБahАНТ – дибенз[a,h]антрацен, БghiПЕР – бенз[ghi]перилен, ИПИР – индено[1,2,3-cd]пирен; прочерк – не обнаружено. ± – погрешность определения при P=0,95.

Оценка влияния пирогенного фактора на состав верхних горизонтов подзолистых почв, позволила выявить, что в почве 8-летней гари (2S) сохраняется высокое содержание ПАУ, по сравнению с почвой условно-фонового ландшафта (рис. 5.16). Наибольшие различия с фоновым участком выявлены в подстилке, в которой наблюдается возрастание всех ПАУ, за исключением фенантрена и антрацена. Наибольшее возрастание происходит за счет нафталина и хризена. Показано, что концентрация полициклических углеводородов, характеризующихся наибольшей растворимостью в водных средах, возрастает в минеральных горизонтах почв геохимических подчиненных ландшафтов (2S(окраина гари)).

Изучение подзолистых почв, пройденных пожарами 100-150 лет назад, показали, что наиболее высокие концентрации суммарного содержания ПАУ характерны для нижних подгоризонтов подстилок. Но при этом, значения сравнимы с содержанием в почвах условно-фоновых ландшафтов. Наибольшее возрастание по сравнению с условно-фоновым участком, происходит по содержанию нафталина, который диагностируется, в том числе и пирогенных морфонах, располагающихся на глубине более полуметра (табл. 5.6). Можно предположить, что значительная часть ПАУ, формирующаяся при пожарах, вовлекается в биологический цикл, в состав фракций почвенного органического вещества.

Таблица 5.6. Содержание ПАУ в подзолистых почвах, нг $г^{-1}$ почвы

Горизонт	Глубина, см	2-ядерные			3-ядерные		4-ядерные				5-ядерные				6-ядерные	
		НАФТ	АЦЕ	ФЛУ	ФЕН	АНТ	ФЛА	ПИР	БаАНТ	ХРИ	БbФЛА	БkФЛА	БаПИР	ДБahАНТ	БghiПЕР	ИПИР
Почва ельника, условно-фонового участка (1S)																
O(L)	0-1	–	–	18±7	121±27	10±5	–	–	–	5±3	–	–	–	–	–	–
O(F)	1-4	61±30	30±12	52±21	80±40	6±3		–	–	12±6	13±6	4±2	5±3	–	10±4	9±4
O(H)	4-5	22±11	33±13	51±20	60±32	4±2	22±10	–	6±3	19±10	30±13	7±3	10±5	–	14±6	13±6
EL	5-10	–	–	13±5	14±7		–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
ELf	10-15	–	–	13±5	11±6	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
BEL	15-25	–	–	12±5	11±6	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
BT1	25-55	–	–	13±5	11±6	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
BT2	55-80	–	–	9±4	8±4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Почва ельника, располагающего в геохимически подчиненном участке (2S-1)																
O(L+F)	0-4	60±30	–	40±16	34±17	–	–	–	–	4.0±2.0	–	1.0±1.0	2.0±1.0	–	–	–
O(H)	4-5	250±120		68±27	45±22	–	–	–	–	8.0±4.0	9±4	2.0±1.0	4.0±2.0	–	–	–
EL	5-10		–	29±12	13±6	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
BF1	10-15		–	24±12	16±8	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
BF2	15-20	26±13	–	59±24	29±14		–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
BEL	20-30		–	80±30	15±7	–		–	–	13±7	–	–	–	–	–	–
Bt1	30-50		–	35±14	19±9		–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Bt2	50-80	43±22	–	–	13±7	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Почва лиственного постпирогенного молодняка (2S-2)																
Opyr	0-3	320±160	–	94±24	48±24	3.0±2.0	–	–		49±25	47±20	2.0±1.0	4.0±2.0	6±3	31±14	14±6
ELpyr	3-5	23±11	–	23±9	10±5		–	–	–	–	6±3	–	–	–	–	–
ELf	5-18	–	–	27±11	13±7		–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
BEL	18-41	–	–	–	8±4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
BT1	41-60	31±15	–	–	14±7		–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
BT2	60-80	28±14	–	34±14	27±13	1.1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
3S Почва смешанного лиственно-хвойного леса, 100 лет после пожара (разр. 27-15)																
O(L)	0-1	24±12	–	8±3	47±24	3.0±1.0	–	–	–	6±3	–	2.0±1.0	3.0±1.0	–	8±4	–
O(F)	1-4	55±28	–	–	18±9	2.0±1.0	24±11	–	–	11±6	16±7	4.0±2.0	5.0±2.0	–	14±6	–

O(H)pyr.	4-6	90±40	–	8±3	60±30	2.0±1.0	22±10	24±11	–	16±8	31±13	4±2	6±3	–	12±5	–
EL	6-20	–	–	–	14±7	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
BEL	20-60	–	–	–	–	2.0±1.0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
4S Почва смешанного хвойно-лиственного леса, 154 года после пожара (разр. 16-14)																
O(F)	1-3	80±40	–	9±4	51±26	3.0±2.0	35±16	25±12	–	13±7	17±7	4.0±2.0	5.0±2	–	11±5	–
O(H)	3-4	170±80	7±3	31±12	23±12	7±4	30±14	30±14	–	12±6	22±9	5±3	7±4	–	12±5	–
EL	4-20	28±14	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
EL	20-30	27±14	–	–	11±6	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Черное пятно	погреб.	26±13	–	–	20±10	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Примечание: НАФТ – нафталин, АЦЕ – аценафтен, ФЛУ – флуорен, ФЕН – фенантрен, АНТ – антрацен, ФЛА – флуорантен, ПИР – пирен, БаАНТ – бенз[a]антрацен, ХРИ – хризен, БbФЛА – бенз[b]флуорантен, БкФЛА – бенз[k]флуорантен, БаПИР – бенз[a]пирен, ДБahАНТ – дибенз[a,h]антрацен, БghiПЕР – бенз[ghi]перилен, ИПИР – индено[1,2,3-cd]пирен; «–» – не обнаружено. ± – погрешность определения при P=0,95.

Оценка содержания ПАУ в составе денсиметрических фракций показала, что наибольшими концентрациями характеризуются фракции свободного и окклюдированного органического вещества, как в условно-фоновой, так и постпирогенных почвах. Необходимо отметить, что для фракции $СОВ_{<1.6}$ (свободного органического вещества) условно-фонового участка характерно достаточно высокое суммарное содержание ПАУ, что потенциально может указывать на предыдущие пожары, которые могли быть на данном участке. Учитывая, крайне низкую концентрацию фракции $ООВ_{<1.6}$ в составе верхних генетических горизонтов, необходимое для анализа количество фракции выделить не удалось. Суммарное содержание ПАУ в тяжелой фракции условно-фонового участка низкое – суммарное содержание составляет 45 нг $г^{-1}$.

Наряду с общим возрастанием содержания фракций свободного и окклюдированного вещества в пирогенных почвах, наблюдается возрастание содержания ПАУ во всех фракциях. Наибольшие концентрации выявлены для фракции свободного и окклюдированного органического вещества двухлетнего горельника. В аналогичных фракциях 10 и 16 летних горельников, выявлено достаточно высокое содержание (табл. 5.7). При этом можно констатировать, что в целом, содержание в исследуемых фракциях со временем прошедшим после пожара уменьшается. В тяжелых денсиметрических фракциях постпирогенных почв, так же наблюдается возрастание (по сравнению с однотипной фракцией условно-фоновой почвы) общего содержания ПАУ. При этом только небольшая часть ПАУ вступает в органоминеральные взаимодействия и формирует органоминеральные комплексы в составе верхних минеральных горизонтов. По сравнению с условной фоновой почвой возрастание происходит за счет нафталина, флуорена и фененатрена. Можно предположить, что содержание ПАУ в денсиметрических фракциях ($СОВ_{<1.6}$ и ООВ<1.6) можно использовать в качестве «маркеров» наличия пожаров и их интенсивность благодаря более высокой концентрации, чем в почвах в целом.

Таблица 5.7. Содержание ПАУ в денсиметрических фракциях исследуемых почв, нг $г^{-1}$ почвы

Горизонт	Образец	2-ядерные			3-ядерные		4-ядерные			5-ядерные					6-ядерные	Сумма
		НАФТ	АЦЕ	ФЛУ	ФЕН	АНТ	ФЛА	ПИР	БаАНТ	ХРИ	БbФЛА	БkФЛА	БаПИР	ДБahАНТ	БghiПЕР	
Почва условно-фонового участка (сосняк лишайниковый)_1L																
E	почва	–	–	41±17	27±13	1.2±0.6	–	–	–	–	–	–	–	–	29±13	98.2
	$СОВ_{<1.6}$	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	1908.0
	$ТФ_{>1.6}$	–	–	23±9	7±4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	Н.о	30.0
Почва сосняка лишайникового пройденного пожаром 2 года назад_3L																
Qpyr	почва	63±30	–	84±22	43±22	2.1±1.1	–	–	–	4.4±2.3	19±8	1.8±0.9	2.3±1.2	–	14±6	233.6
	$СОВ_{<1.6}$	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	3578.0
	$ООВ_{<1.6}$	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	31±13	4539.0
	$ТФ_{>1.6}$	23±11	–	50±20	27±13	1.7±0.9	–	–	–	–	–	–	1.1±0.6	–	6±3	108.8
Почва сосняка лишайникового пройденного пожаром 10 лет назад_4L																
Qpyr	почва	150±80	–	170±40	121±27	6±3	23±11	–	–	19±10	11±4	4.3±2.1	8±4	–	7±3	519.3
	$СОВ_{<1.6}$	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	1890.0
	$ООВ_{<1.6}$	470±230	18±7	630±160	410±90	40±10	100±40	70±30	–	80±40	60±25	10±5	26±13	14±7	98±23	2026.0
	$ТФ_{>1.6}$	50±25	–	110±30	47±23	2.3±1.2	–	–	–	3.1±1.6	–	–	1.1±0.6	–	–	213.5
Почва сосняка лишайникового пройденного пожаром 16 лет назад_5L																
Qpyr	почва	42±21	–	54±21	34±17	1.0±0.5	–	–	–	3.9±2.0	–	–	1.3±0.7	–	9±4	145.2
	$СОВ_{<1.6}$	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	2001.0
	$ООВ_{<1.6}$	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	2300.0
	$ТФ_{>1.6}$	–	–	36±14	16±8	–	–	–	–	–	–	–	–	–	12±5	64.0

Примечание: НАФТ – нафталин, АЦЕ – аценафтен, ФЛУ – флуорен, ФЕН – фенантрен, АНТ – антрацен, ФЛА – флуорантен, ПИР – пирен, БаАНТ – бенз[a]антрацен, ХРИ – хризен, БbФЛА – бенз[b]флуорантен, БкФЛА – бенз[k]флуорантен, БаПИР – бенз[a]пирен, ДБahАНТ – дибенз[a,h]антрацен, БghiПЕР – бенз[ghi]перилен. «н.о.» – не обнаружено. ± – погрешность определения при P=0,95.

5.4.7. Углерод и азот водорастворимых соединений

В условиях промывного водного режима особую роль играют водорастворимые органические соединения (Яшин и др., 2003; Яшин, 2006), представленные достаточно широким спектром индивидуальных органических соединений (Шамрикова и др., 2012). Водорастворимые органические соединения представляют наиболее реакционно-способную часть почвенного органического вещества (Kaiser et al., 2001), которая участвует в переносе питательных элементов (Michalzik, Matzner, 1999; Christ, David, 1996), влияет на химический состав поверхностных водотоков (Wang et al., 2015; Прокушкин и др., 2008). В ходе постпирогенного восстановления экосистем происходят значительные изменения состава растительности, ценотической роли, биологической продуктивности растений, почвенной биоты (Гонгальский и др., 2016), что приводит к изменению как морфологических, так и физико-химических свойств почв лесных экосистем (Лукина и др., 2008; Максимова и др., 2014; Mataix-Solera et al., 2014; Maksimova, Abakymov, 2017; Abakumov et al., 2017), в том числе и водорастворимого органического вещества. Достаточно детально изучено постпирогенное изменение содержания водорастворимых соединений углерода в почвах лиственничников Средней Сибири (Прокушин и др., 2011; Богданов и др., 2009; Myers-Pigg et al., 2015). Данные по содержанию Свс в постпирогенных бореальных почвах европейской территории России к настоящему времени носят единичный характер.

При анализе содержания Свс определено, что максимальные абсолютные содержания водорастворимых органических соединений характерны для подгоризонтов подстилок. При этом содержание Свс в подстилках близкое и изменяется в пределах от 3.6 до 19.3 мг $г^{-1}$ (Приложения 2.10-2.13). В большинстве исследуемых почв, максимальные концентрации характерны для подгоризонтов свежего опада. Различия наблюдаются при сравнении верхних подгоризонтов подстилок, представленных свежим опадом и частями растений напочвенного покрова. Минимальные концентрации характерны для верхнего подгоризонта сосняка лишайникового, максимальные для подстилки сосняка сфагнового, что в целом совпадает с результатами полученными Токаревой и Прокушкиным (2012)

для различных растений напочвенного покрова. Основу общего углерода водорастворимых веществ составляют органические соединения. Относительное содержание углерода водорастворимых соединений в подстилках изменяется от 1.1 до 4.5 % (Дымов и др., 2018). Но при этом, подгоризонты подстилок различаются по содержанию: во всех почвах, за исключением подзолов, формирующихся под сосняками лишайниковыми, наибольшие концентрации характерны для подгоризонта O(L) или подгоризонта очеса. Для почв с морфологически выраженными подгоризонтами ферментации и гумификации, для горизонта O(F) характерны более высокие значения Свс по сравнению с горизонтом O(H). Во всех исследуемых почвах содержание Свс в минеральных горизонтах ниже, чем в органогенных – содержание углерода ВС в верхних минеральных горизонтах на порядок меньше чем в подстилках. При этом для большинства почв условно-фоновых ландшафтов, содержание в элювиальных горизонтах выше, чем в иллювиальных. Максимальной концентрацией характеризуется элювиальный горизонт подзолистой почвы под ельником, для всех остальных почв характерно существенно меньшее содержание 0.1-0.14 мг $г^{-1}$. Относительное содержание (относительно общего углерода) в целом повторяют профильное распределение общего углерода. Но при этом, имеет достаточно широкий разброс – от 1.1 в подзолах иллювиально-железистых до 5.3 в элювиальном горизонте подзолистой почвы с морфологически выраженной потечностью гумуса (Приложения 2.10-2.13).

В почвах участков, подвергнувшихся пожару, происходит значительные изменения содержания Свс. Основная тенденция изменения содержания Свс наблюдается в уменьшении концентрации в горизонтах испытывающих прямое воздействие огня верхние горизонты подстилок и вновь образованные пирогенные горизонты. В подстилках сосняков бруснично-зеленомошных, пройденных беглыми низовыми пожарами происходит уменьшение углерода Свс в 2.6-5.5 раза. Подстилки, не подвергнувшиеся прямому воздействию огня – ферментативные горизонты, сохраняют близкое к почве условно-фонового участка содержание (Приложение 2.12). Прослеживается некоторое возрастание содержания углерода Свс в верхних минеральных горизонтах в 1.6-3 раза по сравнению с условно-

фоновым, при этом содержание относительно общего углерода уменьшается как в подстилках, так и минеральных горизонтах.

В почвах сосняков лишайниковых выявлено уменьшение содержания Свос в 7-12 раз на участке после пожара через 1 год, и в два-четыре раза на участке 2-х летнего горельника. При восстановлении растений напочвенного покрова, на участках пройденных пожарами 10 и 16 лет назад, содержание Свос близко к условно-фоновому участку (Приложение 2.10). При этом выявлено, что в пирогенных подстилках относительное содержание углерода уменьшается, а в минеральных горизонтах, наоборот его доля возрастает.

В почве ельника чернично-зеленомошного, пройденного верховым пожаром девять лет назад и уничтожившим подстилку полностью, выявлено более низкое по сравнению с условно-фоновым участком содержание Свос, как в органогенных, так и минеральных горизонтах (Приложение 2.12). Но при этом в относительных цифрах содержание углерода в минеральных горизонтах несколько выше благодаря суглинистому составу.

В сосняках полугидроморфных ландшафтов (Приложение 2.13), воздействие пирогенного фактора, максимально на участках с выгоревшими органогенными горизонтами. На участках, пройденных пожарами один год до отбора образцов, содержание Свс составляет 0.7-0.8 мг $г^{-1}$ почвы, что в 24-27 раз меньше, чем в подгоризонте очеса почвы условно-фонового ландшафта. Но при этом, на участке, пройденном пожаром три года назад, содержание Свс меньше условно-фонового участка в 9 раз. Существенных изменений в абсолютном и относительном содержании в минеральных горизонтах не выявлено.

Выявлено, что на участках сосняков, подвергшихся пожарам, в некоторых случаях идет возрастание содержания общего неорганического углерода в подстилках, но при этом в большинстве исследуемых проб почв его содержание крайне низкое и оно не вносит существенный вклад в общий углерод почв. Вероятно, наибольшее количество неорганического углерода образуется при горении в виде углекислого газа, в водных растворах образующих карбонаты и гидрокарбонаты.

В целом, в почвах гарей и горельников выявлены общие закономерности, заключающиеся в резком уменьшении содержания Свос в первые годы (месяцы)

после пожара, и постепенным восстановлением концентраций со временем (рис. 5.17). Схожие закономерности были ранее получены для лиственничников Средней Сибири (Богданов и др., 2009; Прокушкин и др., 2011). Постпирогенное изменение Свос связано с двумя основными факторами. Первым, вероятно решающим, является продуцирование Свос растениями напочвенного покрова. После пожара значительная часть растений напочвенного покрова погибает, в ходе дальнейшего восстановления растений напочвенного покрова наблюдается возрастание Свос. Вторым немаловажным фактором является образование значительной доли углистых включений (Knicker, 2011; González-Pérez et al., 2004; Красильников, 2015), которые могут сорбировать значительную часть органических соединений поступающих на поверхность почв. В ходе наполнения сорбционной емкости полученных в ходе пожара углей, все большее количество органических соединений поступает в почвы.

Максимальное содержание общего Nвс наблюдается в органогенных горизонтах фоновых участков сосняков, которые не подверглись воздействию пожара. Содержание варьировало от 0.18 до 0.45 мг $г^{-1}$. В почвах пройденных пожарами наблюдалось снижение концентраций соединений азота. Но при этом, подгоризонты подстилок не испытывающие прямого пирогенного воздействия, сохраняли содержание близкое к соответствующим подгоризонтам условно-фоновых ландшафтов. Почвы ельников чернично-зеленомошных имеют те же тенденции распределения общего азота по профилю, как и почвы сосняков (Приложение 2.12).

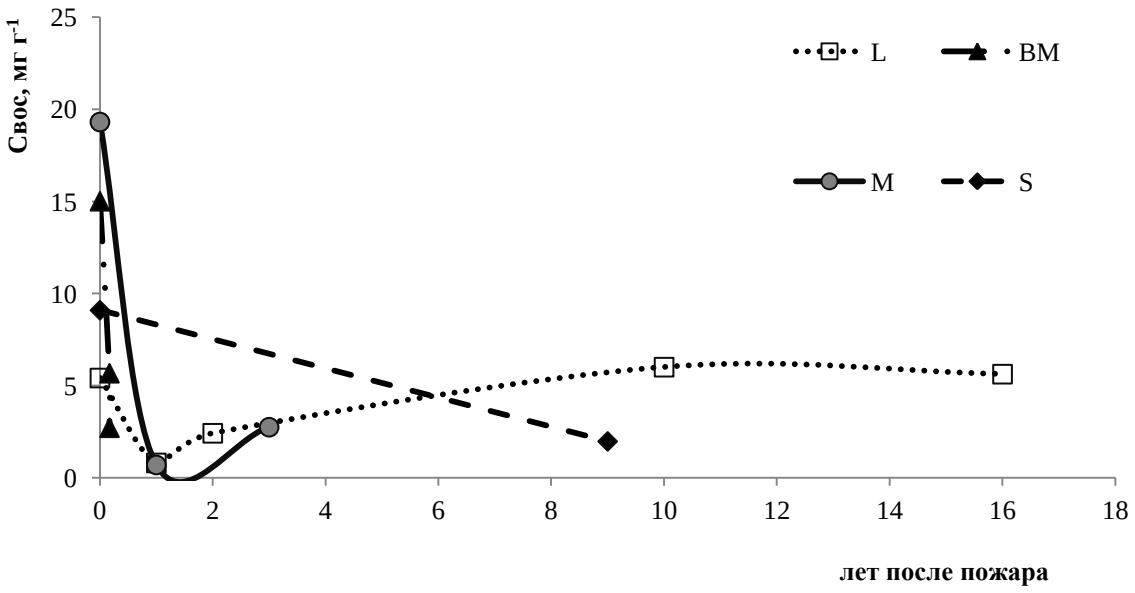


Рисунок 5.17. Содержание Свс в верхних подгоризонтах подстилок исследуемых почв в первые десятилетия после пожаров. Обозначения: L – сосняки лишайниковые; BM – сосняки бруснично-зеленомошные; M – сосняки сфагновые; S – ельники кустарничково-зеленомошные.

Для сосняков лишайниковых выявлено некоторое снижение запасов углерода водорастворимых соединений в первое десятилетие после пожара (рис. 5.18). Снижение происходит преимущественно за счет запасов, сосредоточенных в органогенных горизонтах. Общие запасы Свс в сосняке бруснично-зеленомошном, существенно выше, чем в сосняке лишайниковом, но при этом, так же наблюдаются тенденции снижения запасов Свс в первые месяцы после пожара.

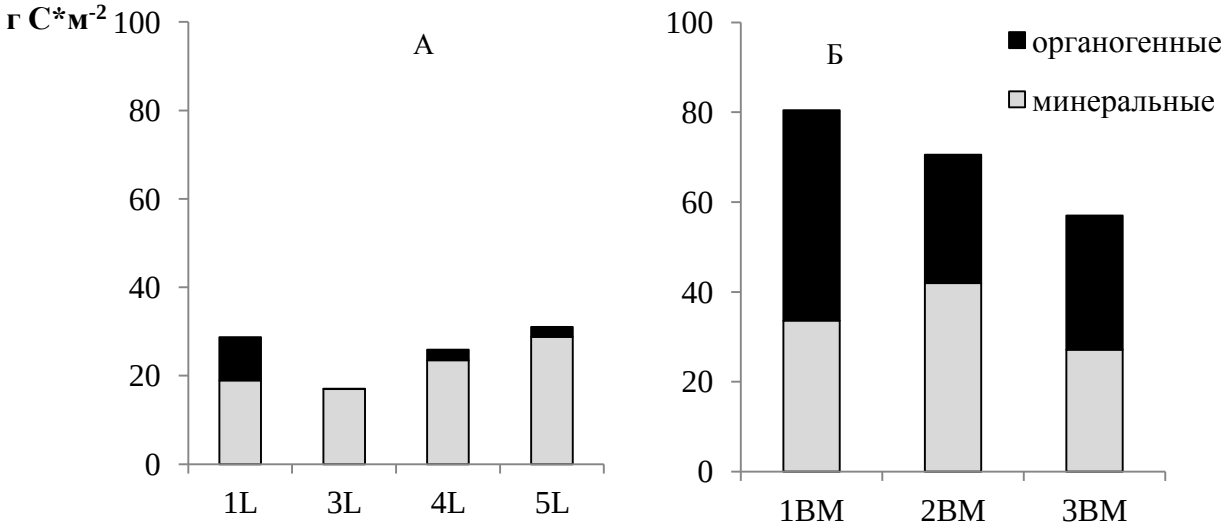


Рисунок 5.18. Запасы углерода водорастворимых соединений в почвах сосняков лишайниковых (А) и бруснично-зеленомошных (Б) (до 50 см).

Таким образом, проведенные исследования позволили выявить, 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, типа пожара и времени прошедшего с момента пожара. Подгоризонты подстилок, не подвергнувшиеся прямому воздействию огня, сохраняют близкие к условно-фоновым почвам концентрации. В первый год после пожара происходит возрастание углерода Свс в минеральных горизонтах. Изменение содержания Свос в таежных почвах после пожара в значительной степени определяется 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

В ходе работ проанализированы изменения структурно-функциональных свойств органического вещества подзолов иллювиально-железистых, сформированных под сосняками лишайниковыми, а так же постпирогенных участков сформировавшихся после пожара – 3-5L (рис. 5.19).

В составе органического вещества лесных подстилок условно-фонового сосняка (1L) преобладают О-алкильные структуры, вероятно связанные с целлюлозой и гемицеллюлозой. Вклад в различных подгоризонтах подстилок различен. Показано, что пожары существенно меняют содержание структурно-функциональных групп в органогенных горизонтах. В подгоризонте (L) с доминированием свежего опада выявлено возрастание доли алифатических фрагментов, в то время как в нижней части подстилки его содержание значительно уменьшалось, что вероятно определяется содержанием целлюлоз и гемицеллюлоз. Органическое вещество горизонтов (O(L) и O(F+H) характеризуется экстремально низкими значениями ароматичности. В общем, полученные данные совпадают с результатами, опубликованными для лесных почв Канады (Santin et al., 2016) и Северной Миннесоты, США (Miesel et al., 2015). Почвенное органическое вещество сосняков лишайниковых характеризуется более низкой ароматичностью,

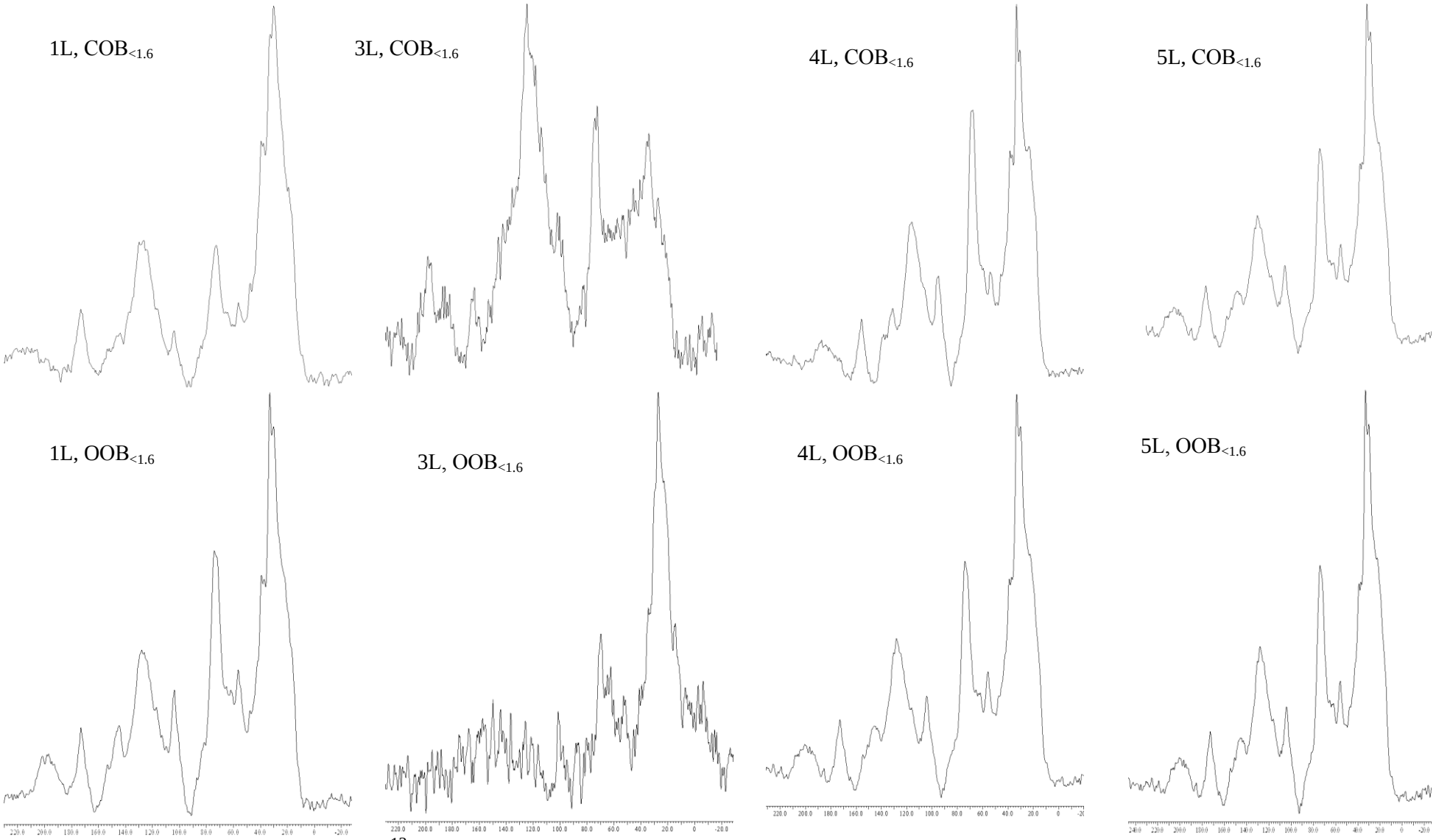


Рисунок 5.19. ^{13}C CPMAS ЯМР спектры денсиметрических фракций исследуемых почв.

Таблица 5.8. Содержание молекулярных фрагментов и интегральные показатели состава ПОВ и денсиметрических фракций верхних горизонтов почв сосняков лишайниковых (по данным ^{13}C ЯМР спектроскопии).

Образец	Распределение углерода, %								fa	алкил/ О-алкил	Hb	AR/AL
	C_{Alk-H}	C_{CH3-O}	C_{Alk-O}	$C_{O-Alk-O}$	$C_{Ar-H(C)}$	$C_{Ar-O,N}$	$C_{COOH(R)}$	$C_{C=0}$				
Почва условно-фонового участка, 1L												
O (L)	37.9	7.5	40.5	7.3	2.8	1.6	2.3	0.1	4.4	0.7	40.7	0.046
O(F+H)	16.6	2.7	66.2	12.4	0.0	0.1	2.0	0.0	0.1	0.2	16.6	0.001
E ($COB_{<1.6}$)	58.0	6.3	11.7	1.0	18.6	1.0	2.5	0.9	19.6	3.0	76.6	0.244
E ($OOB_{<1.6}$)	44.2	7.8	19.4	4.1	17.8	2.2	2.0	2.4	20	1.4	62	0.250
Почва сосняка лишайникового, пройденного пожаром 2 года назад, 3L												
O(L)	40.3	6.6	40.7	5.5	3.9	0.4	2.7	0.0	4.3	0.8	44.2	0.045
Qpyr	27.5	7.5	26.1	5.2	23.8	2.0	1.3	6.7	25.8	0.7	51.3	0.347
Qpyr ($COB_{<1.6}$)	24.2	8.0	14.2	7.4	37.8	3.7	0.8	3.9	41.5	0.8	62	0.709
Qpyr ($OOB_{<1.6}$)	69.7	5.2	14.3	1.4	4.4	2.8	1.7	0.4	7.2	3.3	74.1	0.078
Почва сосняка лишайникового, пройденного пожаром 10 лет назад, 4L												
O(L)	56.1	7.4	30.1	3.0	0.0	0.2	3.0	0.1	0.2	1.4	56.1	0.002
Qpyr	59.6	7.4	22.2	2.3	4.7	0.7	2.1	0.9	5.4	1.9	64.3	0.057
Qpyr ($COB_{<1.6}$)	40.5	6.5	17.9	14.8	16.6	1.8	1.0	0.9	18.4	1.0	57.1	0.225
Qpyr($OOB_{<1.6}$)	48.0	7.6	17.6	3.5	17.6	1.9	1.8	2.0	19.5	1.7	65.6	0.242
Почва сосняка лишайникового, пройденного пожаром 16 лет назад, 5L												
Qpyr ($COB_{<1.6}$)	43.8	6.6	17.4	4.4	22.6	3.0	1.3	1.0	25.6	1.54	66.4	0.344
Qpyr ($OOB_{<1.6}$)	53.4	6.6	14.4	1.9	18.4	1.2	2.3	1.8	19.6	2.3	71.8	0.244

содержанием углерода циклических ароматических структур и карбоксильных групп по сравнению с ПОВ центральной Италии (Mastrolonardo et al., 2015).

Лесные пожары изменяют содержание структурно-функциональных групп в составе почвенного органического вещества. В пирогенных горизонтах уменьшается содержание углерода алкильных фрагментов, и возрастает доля ароматических. Значения ароматичности ПОВ в пирогенных почвах, так же возрастают. Значительную роль в изменении почвенного органического вещества играет значительное, залповое поступление хвои непосредственно после пожара на рассматриваемых участках. Мощность слоя свежих иголок сосны может достигать нескольких см, и существенно влиять на структурно-функциональные свойства ПОВ. Содержание некоторых структурно-функциональных групп в почве 2-летней горельника схоже с почвой условно-фонового участка (1L). Почвенное органическое вещество верхних горизонтов характеризуется доминированием алкил и О-алкил углерода при достаточно низких концентрациях углерода ароматических и фенольных структур (табл. 5.8). Пирогенный горизонт двухлетнего горельника наиболее полно иллюстрирует влияние пожара. В составе ПОВ присутствуют практически в равном соотношении алифатические О-алкил и ароматические фрагменты с низким вкладом фенольных, карбоксильных и альдегидных групп. Десять лет после пожара состав ПОВ верхнего подгоризонта подстилки становиться близок к почве условно-фонового участка. Существенно уменьшается вклад ароматических групп и возрастает доля алифатических фрагментов. Продукты горения значительно воздействуют на состав ПОВ. При этом поступление алифатических фрагментов в составе хвои сосны, опад которых активизируется непосредственно после пирогенного воздействия. Вероятно, именно возрастание опада сосновой хвои приводит к увеличению доли алифатических фрагментов в почвах 4 и 5L. Но при этом продукты горения, образующиеся ходе пожара, могут сохраняться в почвах длительное время (Pereira et al., 2012; Badia et al., 2014; Bento-Goncalves et al., 2012).

Отсутствие ароматических фрагментов в составе этого горизонта, позволяет предположить, что это результат залпового постпирогенного поступления опада хвои сосны, которая в значительной степени влияет на свойства почвенного

органического вещества. Так же в составе верхних подгоризонтов постпирогенных почв выявлено возрастание доли метоксильных групп, при снижении О-алкильных фрагментов, в значительной степени представленной целлюлозными фрагментами. Наиболее четко отражает последствия пожара в почвах состав пирогенного горизонта фитоценоза, пройденного пожаром 2 года назад. Состав структурно-функциональных групп отражает приблизительно равное содержание алифатических, О-алкильных и ароматических групп, при присутствии фенольных, карбоксильных и альдегидных групп. 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. Пирогенез в значительной степени воздействует на микробиоту, практически полностью ее уничтожая. Содержание доступных алифатических фрагментов может быть результатом значительного угнетения микробиологического состава и неполного его восстановления даже через 10 лет после пожара. Близкие результаты были получены и при изучении последствий пожаров в сосняках бруснично-зеленомошных (табл. 5.9, рис. 5.20). Так в верхних горизонтах на участке, пройденном беглым низовым пожаром, происходит существенное выравнивание содержания алифатических, О-алкильных и ароматических фрагментов при присутствии метоксильных и структурных фрагментов гемицеллюлоз. Неполное выгорание подстилок и менее интенсивный пожар приводит к некоторому доминированию алифатических фрагментов в составе структурно-функциональных групп, и при этом возрастание как фенольных, так и ароматических фрагментов менее значительно. Нижняя часть подстилок, которая на данных участках не подвергалась прямому воздействию огня, отличается от собственно пирогенного горизонта. В составе органических соединений сохраняется высокая доля О-алкильных групп, при этом содержание алкильных фрагментов существенном уменьшается по сравнению с верхним горизонтом на участке, пройденном пожаром 50 дней назад (табл. 5.9). Подстилка участка пройденного менее интенсивным пожаром (48 дней после пожара), в целом повторяет особенности верхнего пирогенного горизонта, но в нем уменьшается доля ароматических фрагментов.

Таблица 5.9. Относительное содержание молекулярных фрагментов и интегральные показатели ПОВ сосняков бруснично-зеленомошных (по данным ^{13}C ЯМР спектроскопии).

Образец	Распределение углерода, %								fa	алкил/О-алкил	Hb	AR/AL
	C_{Alk-H}	C_{CH3-O}	C_{Alk-O}	$C_{O-Alk-O}$	$C_{Ar-H(C)}$	$C_{Ar-O,N}$	$C_{COOH(R)}$	$C_{C=0}$				
Почва сосняка бруснично-зеленомошного, 1ВМ												
O(Оч.)	17.5	1.1	66.5	12.7	н.о.	н.о.	2.2	0.1	0	0.2	17.5	0.0
O(F+H)	46.6	9.8	35.1	5.7	2.3	0.1	0.5	н.о.	2.4	0.9	48.9	0.025
Почва сосняка бруснично-зеленомошного, пройденного пожаром 50 дн., 2ВМ												
Qpyr.	32.6	9.1	30.0	8.1	19.6	0.24	0.1	0.4	19.8	0.7	52.2	0.247
O(F)	18.2	0.3	60.7	13.2	5.8	н.о.	1.8	н.о.	5.8	0.2	24	0.062
Почва сосняка бруснично-зеленомошного, пройденного пожаром 48 дн., 3ВМ												
Qpyr	54.3	9.2	24.0	3.4	1.4	4.8	1.9	1.0	6.2	1.5	55.7	0.066
O(F)	47.5	8.6	36.7	4.1	0.3	0.3	2.6	н.о.	0.6	1.0	47.8	0.006

Установлено, что пожары приводят к возрастанию доли ароматических фрагментов, наибольшая доля ароматических структур характерна для легких фракций свободного органического вещества (рис. 5.21). Для сосняков лишайниковых было проведено фракционирование верхних минеральных горизонтов. Оценку структурно-функциональных свойств почвенного органического вещества проводили только во фракциях свободного и окклюдированного органического вещества. Тяжелые фракции, в связи с низким содержанием в них углерода по данному показателю не анализировали.

Показано, что содержание отдельных фракций существенно отличается в зависимости от характера и времени прошедшего с момента пирогенного воздействия. Фракции свободного органического вещества условно-фонового участка на 58 % представлено углеродом алифатических соединений, при достаточно высокой доле ароматических углерода. Состав органического вещества фракции $ООВ_{<1.6}$ отличается от $СОВ_{<1.6}$. В ее составе О-алкильные фрагменты доминируют над алкильным фрагментами. Кроме этого в ее составе значительна доля ароматических фрагментов. Фракция $СОВ_{<1.6}$, сосняка лишайникового, пройденного пожаром 2 года назад, существенно отличается от почвы условно-фонового участка доминированием ароматического углерода, фенольных и карбоксильных групп. Фракция $СОВ_{<1.6}$ характеризуется возрастанием ароматичности и уменьшением алифатических фрагментов. $ООВ_{<1.6}$ фракция участка 2L характеризуется возрастанием алифатических фрагментов. Фракции свободного и окклюдированного органического вещества участков 4 и 5L схожи с условно-фоновым участком, что в целом совпадает с данными Ranatynga et al. (2017). В них наблюдается доминирование алифатических фрагментов. Состав $СОВ_{<1.6}$ и $ООВ_{<1.6}$ на участках 4 и 5L не изменяется со временем после пожара и характеризуется преобладанием углерода алкильных соединений (48-53%) доля которого увеличивается в ходе постпирогенной сукцессии, что совпадает с ранее опубликованными данными Glaser et al. (2000).

Таким образом, необходимо отметить, что пожары приводят к существенным изменениям структурно-функциональных свойств почвенного органического вещества. Изменения зависят от интенсивности пожара, полного

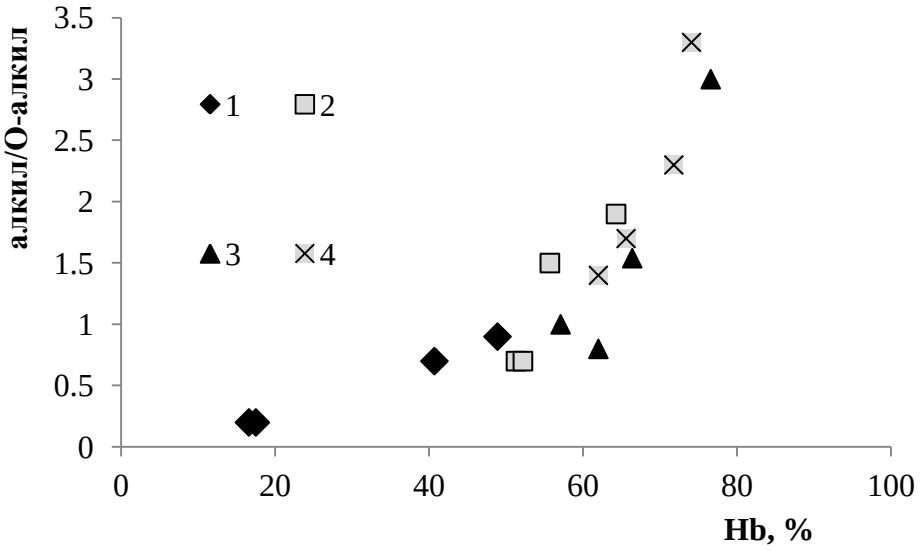


Рисунок 5.20. Диаграммы интегральных показателей молекулярных фрагментов углерода ПОВ. 1 – подстилки условно-фоновых почв (1L, 1BM), 2 – пирогеные горизонты (3L, 4L, 2BM, 3BM), 3 – фракции $COB_{<1,6}$ (1L, 3L, 4L, 5L), 4 – фракции $OOB_{<1,6}$ (1L, 3L, 4L, 5L).

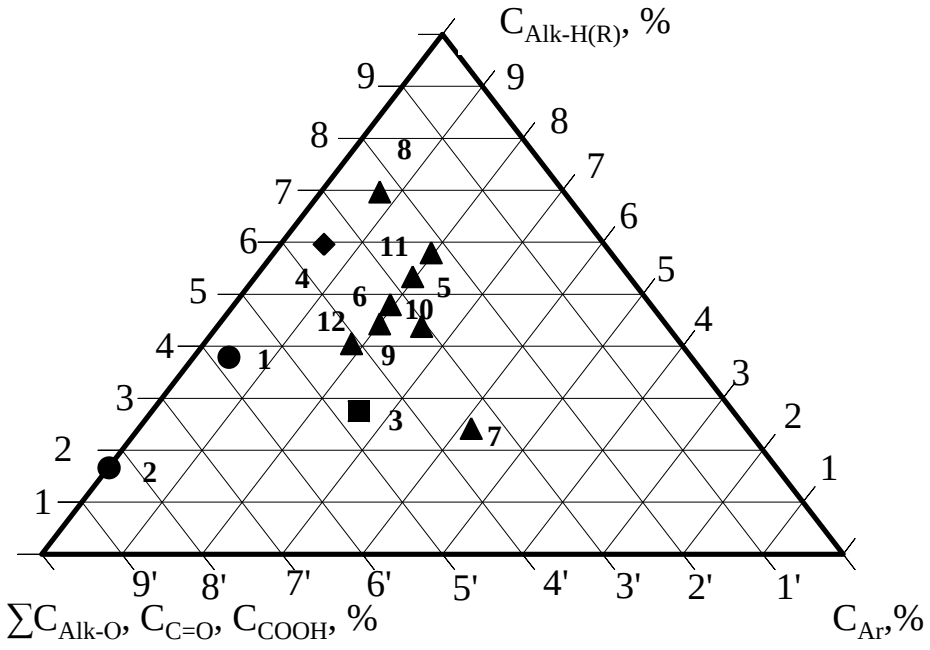


Рисунок 5.21. Диаграмма состава молекулярных фрагментов углерода подстилок сосняка лишайникового (1 – O(L), 2 – O(F+H)), пирогенных горизонтов (3 – 3L, 4 – 4 L), денсиметрических фракций (5 – $COB_{<1,6}$, 1L; 6 – $OOB_{<1,6}$, 1L; 7 – $COB_{<1,6}$, 3L; 8 – $OOB_{<1,6}$, 3L; 9 – $COB_{<1,6}$, 4L; 10 – $OOB_{<1,6}$, 4L; 11 – $COB_{<1,6}$, 5L; 12– $OOB_{<1,6}$, 5L).

или частичного выгорания подстилок, поступления дополнительного опада, а так же компонентов опада, подвергшихся неполной деструкции. Пирогенные

изменения достаточно хорошо диагностируются в денсиметрических фракциях. Но при этом, в ходе постпирогенных сукцессий в значительной степени сглаживаются.

Таким образом, оценивая изменения почв в ходе постпирогенных почвенных сукцессий, выявлено, что выраженность, сохранность и пирогенных морфологических признаков определяется типом пожара, его интенсивностью, исходным типом леса и сухостью подстилочных горизонтов. Показано, что устойчивые пожары приводят к полному уничтожению постилок, растений напочвенного покрова, большему нарушению древостоя. Беглые низовые пожары приводят к частичному выгоранию подстилочных горизонтов. В сосняках, формирующихся на полугидроморных почвах, характерно очаговое распространение нарушений. Пирогенные признаки сохраняются в лесных почвах длительное время – в автоморфных позициях рельефа до 100-150 лет. Значительные территории таежных почв в различные этапы были пройдены пожарами. Вероятно, следует рекомендовать введение в классификацию почв России универсального подтипа для лесных почв. Обозначение горизонтов с пирогенными (постпирогенными) признаками следует давать в качестве генетических признаков (малых индексов). Допустим Еруг, О(Н)руг. и тд. Пирогенные признаки, в большинстве случаев, достаточно хорошо диагностируются наличием углистых включений на границе лесных подстилок и минеральных горизонтов. В почвах более возрастных пирогенных сукцессий (более 100 лет) углистые включения могут быть диагностированы в морфонах, образованных вывалами первого постпирогенного поколения древостоя.

Постпирогенные почвы отличаются меньшей кислотностью, более высокой степенью насыщенности основаниями, обогащением азотом органического вещества по сравнению с условно-фоновыми. В ходе постпирогенных сукцессий основные физико-химические свойства приближаются к почвам условно-фоновых ландшафтов уже после 10 лет после пожара.

Различные пулы и фракции в составе почвенного органического вещества по-разному, изменяются в ходе пирогенного воздействия. В постпирогенных почвах выявлено существенное снижение доли углерода водорастворимых соединений, при этом в ходе восстановления растений напочвенного покрова происходит постепенное восстановление содержания. В первые годы после пожара

происходит возрастание доли гидрофобных соединений в составе щелочерастворимого органического вещества. В почвах пройденных пожарами более двух лет назад наблюдается сглаживание состава гидрофильных и гидрофобных фракций. Пожары способствуют возрастанию ароматичности почвенного органического вещества, в пирогенных горизонтах возрастает доля ПАУ. Пирогенные горизонты, образующиеся на границе минеральных и органогенных горизонтов, характеризуются обогащением углеродом пирогенного происхождения. Достаточно хорошо отделяются в виде легких фракций при денсиметрическом фракционировании.

Общие закономерности влияния пожаров на запасы углерода заключаются в перераспределении запасов углерода между подстилочными и верхними минеральными горизонтами. Наибольшие изменения происходят при низовых устойчивых пожарах, в то время как при низовых беглых пожарах существенных изменений в запасах углерода почв не выявлено.

ГЛАВА VI. ПОЧВЫ ПОСТАГРОГЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ

Распространение земледелия в бореальном поясе неизменно связано с обработкой лесных почв. Этапы освоения лесных почв определялись появлением населения ведущего оседлый образ жизни (Бобровский, 2010; Алейников и др., 2015). Первые этапы заселения удаленных от центра таежных территорий Севера Европейской части России, в том числе и Республики Коми, относят к 15-17 векам прошлого тысячелетия (Леса.., 1999). Можно предположить, что именно в это время широко стало применяться подсечное земледелие, включающее сжигание существующих лесов (Santín & Doerr, 2016), с последующим выращиванием на их месте пшеницы, ржи и ряда других сельскохозяйственных культур. В современное время изменение землепользования происходит во многих регионах планеты (Матинян и др., 2007; Yu et al., 2014; Debolini et al., 2015; England et al., 2016; Abulizi et al., 2017). Полевые исследования процессов восстановления экосистем, происходящих на залежных землях были проведены на территории Астраханской, Новгородской, Псковской областей (Люри и др., 2010; Kalinina et al., 2009), Башкортостана (Сайфулина и др., 2008), Костромской (Владыченский и др., 2013; Рыжова и др., 2014; Телеснина и др., 2015) и Воронежской областей (Васенёв, 2008). Наиболее катастрофические изменения сельскохозяйственных земель происходили на территории таежной зоны, площадь залежей изменялась от 10 до 40 % (Люри и др., 2010). Показано, что на первых этапах лесовосстановления на залежи происходит усиление вертикальной дифференциации верхних горизонтов почвы. Исследования, направленные на изучение изменений растительности и почв в ходе постагрогенных сукцессиях на территории средней тайги, носят единичный описательный характер. Наиболее полно изучены свойства постагрогенных, остаточно-карбонатных почв на территории Архангельской области (Наквасина, Голубева, 2014).

Скорость постагрогенной сукцессии определяют зональная локализация и тип почв залежи, приводящие к тому, что на подавляющем большинстве из них идёт процесс восстановления естественной зональной растительности и естественных почв, близких к зональным. Некоторые из модифицирующих факторов действуют только на определенной стадии сукцессии, другие оказывают

свое влияние на протяжении всего срока восстановления. В результате постагрогенное восстановление растительности даже в одних и тех же почвенно-климатических условиях может происходить с разным набором стадий. Почва является крупнейшим пулом углерода в лесах бореального пояса (Lal, 2005; Tarnocai et al., 2009; Pan et al., 2011). Постагрогенные экосистемы могут играть важную роль в секвестировании углерода из атмосферы (Курганова и др., 2007; Люри и др., 2013; Guo & Giffort, 2002; Kurganova et al., 2014; Kurganova et al., 2015; Poeplau & Don, 2015). Управляемое землепользование может существенно влиять на баланс углерода (Wiesmeier et al., 2016).

6.1. Динамика растительности

Для условно-фоновых участков (1АС, 1-1АС, 1АС(Р)) характерна типичная растительность представленная ельниками чернично-зеленомошными и сосняком бруснично-зеленомошным. Состав растительности определяется характером землепользования и в свою очередь, влияет на свойства почв и почвенного органического вещества. Участок условно-коренного леса (1АС) представляет собой ельник чернично-зеленомошный. Состав и структура древостоя, подлеска и травяно-кустарничкового яруса фитоценоза, уровень видового разнообразия сосудистых растений соответствуют типичным среднетаежным темнохвойных лесам (Леса…, 2000; Коренные…., 2006; Дёгтева, Дубровский, 2014). На участке 2АС формируется сообщество, находящееся на ранней стадии постагрогенной сукцессии, для которой характерно преобладание в растительном покрове нитрофильных луговых и сорно-рудеральных видов сосудистых растений. Известно, что в таёжной зоне эти виды получают преимущество в условиях начальных стадий зарастания заброшенных сельхозугодий таежной зоны (Москаленко, Бобровский, 2012; Телеснина, 2015) за счет проявления рудеральных свойств (Grime, 1979; Pierce et al., 2013). Выраженный мохово-лишайниковый ярус отсутствует, по-видимому, он просто не успел сформироваться за то время, которое прошло с момента прекращения использования участка. Для сообщества характерен более высокий уровень видового разнообразия сосудистых растений по

сравнению с фоновым участком и с модельными участками на более поздних стадиях сукцессии. Стоит отметить, что участок 2АС находится наиболее близко к населённому пункту, поэтому, важным фактором, влияющим на почву и растительность, может являться выпас скота, который является причиной угнетения мхов и лишайников, а также увеличения уровня видового разнообразия (Belsky, 1992; Smith & Rushton, 1994; Dupre & Diekmann, 2001; Dahlström et al., 2010; Winsa et al., 2015).

На участке 3АС к настоящему времени сформировался сомкнутый (общая сомкнутость крон 0.6) древостой из лиственных деревьев. Снижение уровня освещенности под пологом молодых насаждений (Дёгтева, 2005), уменьшение поступления азота с началом возобновления деревьев (Телеснина, 2015), усиление конкуренции со стороны видов С стратегии (Novakovskiy et al., 2016) приводит к снижению уровня видового разнообразия сосудистых растений по сравнению с участком 2АС. Снижение видового состава связано с уменьшением вклада светолюбивых нитрофильных видов, проявляющих рудеральные свойства, но при этом более типичные для естественных сообществ луговые и лесные виды (Geranium sylvaticum и др.) усиливают свои позиции. Мхи на данном участке формируют развитый растительный ярус, однако представлены видами, более характерными для луговых и других нелесных сообществ. Виды мхов, формирующих напочвенный покров в фоновых таёжных лесах (*Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt., *Hylocomium splendens* (Hedw.) Bruch et al. и др.) на данном участке отсутствуют.

Состав и структура сообщества участка 4АС отражают его положение на временном ряду исследуемой постагрогенной сукцессии. На данном этапе из состава основного полога древостоя практически выпадают лиственные породы, которые в коренных лесах возобновляются в режиме оконной динамики (Дыренков, 1984). В травяно-кустарничковом ярусе отмечено 15 видов, что соответствует уровню разнообразия как предыдущей стадии (3АС), так и фоновых сообществ (1АС). Однако, по сравнению с ранними стадиями сукцессии, состав травяно-кустарничкового яруса сообщества полностью изменился и приблизился к ассоциациям условно-коренных лесов. Виды начальных сукцессионных стадий не отмечены, преобладают растения лесных и лугово-лесных экотопов. Напочвенный

покров отсутствует. Этот факт наряду с доминированием видов, требовательных к уровню богатства почв (*Oxalis acetosella* L. и *Asarum europaeum* L.), в травяно-кустарничковом ярусе свидетельствует о том, что развитие сообщества происходит в сторону формирования травяного типа леса.

6.2. Морфологические свойства почв постагрогенных ландшафтов

Почвы условно-фоновых участков (1АС, 1-1АС) являются типичными для ельников чернично-зеленомошных средней тайги и представлены подзолистыми текстурно-дифференцированными почвами (Glossic Stagnic Retisol (Siltic, Cutanic)), с типичным микрорельефом, выраженными вывалами, корнями, приствольными повышениями и обилием валежа разной стадии разложения. Для рассматриваемых почв характерна типичная лесная подстилка, дифференцируемая на три подгоризонта с различной степенью разложения органического вещества (O(L), O(F), O(H)). В нижней части подстилки присутствуют углистые включения, свидетельствующие о старых низовых пожарах, затрагивающих территорию в течение предыдущих столетий. Под лесной подстилкой формируется элювиальный горизонт (EL), в верхней части пропитанный потечным органическим веществом (ELhi). Под ним расположен переходный субэлювиальный горизонт BEL, вмещающий языки элювиального горизонта (*Albeluvic glossae)*. Под элювиальной толщей формируются хорошо выраженные текстурные горизонты BT (argic) с типичной многопорядковой структурой и обилием кутан на гранях структурных отдельностей. Строение профиля (1АС): O(L) 0-1 см – O(F) 2-5 см – O (H) 5-8 см – ELhi 8-15 см – EL1 15-45 см– BEL 45-60 см – BT1 60-80 см – BT2 80-100 см.

Почва на участке 2АС представлена агроземом текстурно-дифференцированным (Plaggic Glossic Retisol (Siltic, Cutanic)). В верхней части профиля формируется маломощный органогенный горизонт AY. В почвенном профиле четко видна граница последней механической тракторной вспашки до глубины 30 см. В агрогумусовом горизонте (P) присутствуют углистые включения. Вероятно, их наличие возможно связать с предыдущим подсечном использовании данного участка. Ниже сохранились признаки субэлювиального горизонта, но при этом языковатость нижней границы (retic properties) существенно менее выражены

по сравнению с почвой условно фонового участка. Переходный горизонт (BEL) более однородный, более плотный по сравнению с почвой условно-фонового участка. Существенных отличий, диагностируемых при морфологических описаниях в argic горизонте (BT) по сравнению с почвой условно-фонового участка (1AC) не выявлено. Строение профиля: AY 0-2 см – P2-30 см – BEL 30-45 см – BT1 45-60 см – BT2 60-80 см – BT3 80-110 см.

На участке 3AC, представленном 19-летним березняком разнотравным, микрорельеф практически не выражен. Почва представлена агроземом текстурно-дифференцированным (Plaggic Glossic Retisol (Siltic, Cutanic)). На поверхности формируется маломощный дерновый горизонт (AY) мощностью несколько сантиметров. Агрогумусовый горизонт (P) неоднородный, содержит фрагменты элювиального горизонта, гнезда углистых включений, свидетельствующих о подсечном этапе землепользования. Вероятно, неоднородность агрогумусового горизонта может свидетельствовать о малой частоте вспашки. Подпахотный переходный горизонт (BEL) более светлый по сравнению с соответствующим участком 2AC. В отличие от соответствующего горизонта участка 2AC, но как и в почве условно-фонового участка в субэлювиальном горизонте (BEL) присутствуют вертикальные языки с облегченным гранулометрическим составом. Текстурный (Argic) горизонт (BT) более влажный по сравнению с соответствующими горизонтами участков 1AC и 2AC. Строение профиля: AY 0-2 см – P 2-20 cm – EL 20-30 см – BE 30-40(45) см – BT1 40(45)-60 см – BT2 60-80 см – BT3 80-100 см. Мощность агрогумусвого горизонта 20-25 см.

На участке 4AC под 85-летним ельником кисличным выявлена агродерновоподзолистая почва (Plaggic Glossic Retisol (Siltic, Cutanic)). Микрорельеф существенно отличается от условно-фонового участка: отсутствуют валеж, старые корни, менее выражены приствольные повышения. Хорошо выражены окаймляющие участок дренажные канавы. Строение профиля: O(L) 0-1 см – O(F) 1-3 см – AY(P)1 3-10 см – AY(P) 2 10-25 см – EL 25-35 см – BEL 35-50 см – BT1 50-70 см – BT2 70-90 см – BT3 90-120 см. Можно предположить, что рассматриваемый участок испытал меньшее сельскохозяйственное воздействие по сравнению с участками 2AC и 3AC, поскольку он наиболее удален от населенного пункта, а следовательно осваивался в последнюю очередь, а выводился из

использования, наоборот, в первую очередь. Лесная подстилка имеет ряд отличий от рассматриваемых участков: она имеет меньшую мощность по сравнению с условно-фоновым участком, практически не выражен подгоризонт гумификации. Состав опада растений напочвенного покрова, травянистая стадия с дерновым горизонтом, приводят к формированию подстилки типа mull. Под подстилкой формируется горизонт AY(P) более серый, с выраженной мелкокомковатой структурой, единичными углями, свидетельствующими о стадии подсеки. Мощность агрогумусового горизонта составляет 25 см. За границей дренажных канав, используемых для мелиорации участков, данный горизонт не выражен. В целом, глубина вспашки меньше, чем на участках 2AC и 3AC. Под горизонтом AY(P) хорошо выражены элювиальный и субэлювиальный (BEL) горизонты. Верхняя граница текстурного горизонта (BT) находится на глубине около 50 см.

Агрогенные морфологические признаки агрозема текстурно-дифференцированного (1-2AC) выражаются в хорошо выраженном агрогумусовом горизонте (P) мощностью до 30 см. Ниже сохранился субэлювиальный горизонт (BEL), переходящий в текстурный горизонт. Несмотря на длительность использования участков в качестве сельскохозяйственных земель, наиболее четко выражены морфологические признаки, определяемые механической вспашкой, стирающей морфологические признаки предыдущих этапов землепользования, и формированием мощных и морфологически выраженных агрогумусовых горизонтов.

Почва постагрогенного участка (разр. 2AC(P)) состоит из агрогумусового горизонта (P), ниже расположен хорошо сохранившийся подзолистый горизонт (E), переходящий в ярко-бурый хорошо выраженный иллювиальный горизонт (BF). Глубина вспашки в почвах, формирующихся на песках, составляет около 20 см.

Отличия почв, подвергавшихся сельхозобработке, заключаются в характерной специфике микрорельефа – более выровненном, по сравнению с лесными участками, отсутствии валежа, пней, крупных древесных остатков. Формирование подстилки и ее эволюция из дернового горизонта отражает основные этапы сукцессионных смен растительности. Несмотря на некоторые различия в ведении сельскохозяйственной обработки земель, основным морфологическим критерием является сохранение выраженного агрогумусового

горизонта. На участке, выведенном из использования в 1930-х годах, сохраняется элювиальный горизонт (EL). Скорее всего, это определяется двумя факторами. Присутствие и хорошая выраженность в профиле элювиальной толщи может быть обусловлено меньшей глубиной вспашки, вероятно конной. Кроме этого выраженность элювиального горизонта может быть связана с интенсификацией подзолообразовательного процесса в ходе формирования полога древостоя. На участках с механической вспашкой, и используемой в качестве сельскохозяйственных земель длительное время (2AC), морфологически элювиальный (EL) и субэлювиальный (BEL) горизонты выражены в наименьшей степени. В целом, вовлечение в сельскохозяйственное использование затрагивает верхние до 25-30 см. Изменение нижележащих горизонтов происходит без прямого механического воздействия, опосредовано. Однородность агрогумусового горизонта может свидетельствовать об интенсивности механического воздействия. Наиболее однороден агрогумусовый горизонт участка 2AC, в то время как на участке 3AC встречаются линзы с углистыми включениями и остатками элювиальных горизонтов инкрустированных в основную толщу горизонта. Так можно констатировать, что двух и более вековое использование лесных почв в сельскохозяйственных целях способствует практически полной трансформации элювиальных горизонтов, в том числе практически стирает языковатость нижней границы (2AC). Для всех рассматриваемых почв характерно наличие пирогенных признаков, отражающих этапы подсечного земледелия. Длительная сохранность пирогенных признаков описана в ряде работ (Ohlson et al., 2009; Красильников, 2015; Santín & Doerr, 2016) и подтверждается нашими данными. Пирогенные признаки проявляются в виде наличия углистых включений, обогащению верхних минеральных горизонтов углеродом, являющимися характерными для лесных почв пройденных пожарами в данной природной зоне (Дымов и др., 2015; Dymov, Gabov, 2015). Использование лесных почв в виде подсек способствует формированию горизонта AY и, следовательно, дерново-подзолистых почв (Plaggic Glossic Retisols) на территории среднетаежной подзоны. Анализ морфологических свойств показывает, что изменения, связанные с сельскохозяйственным освоением, сохраняются в почвах длительное время, в нашем случае как минимум до 85 лет. При этом этап с привлечением тракторной вспашки значительно изменяет

морфологические свойства почв и «сглаживает» выраженность морфологических признаков предыдущих этапов землепользования.

Показано, что почвы залежных участков отличаются от почв условно-фоновых участков. Для почв залежных участков характерно сохранение агрогумусовых горизонтов, отсутствие лесной подстилки, меньшая выраженность подзолистого горизонта по сравнению с условно-фоновыми участками.

6.3. Физико-химические свойства постагрогенных почв

Плотность сложения почвы условно-фонового участка (1АС) возрастает с глубиной от 1.3 в верхней части элювиального горизонта, до 1.8 г кг$^{-3}$ в текстурных горизонтах. Верхние минеральные элювиальные горизонты почвы условно-фонового участка облегчены по сравнению с текстурными горизонтами. Наблюдается существенный вынос ила в текстурные горизонты – коэффициент дифференциации по илу 2.3.

Почва условно-фонового участка сильнокислая, максимальная кислотность водной вытяжки характерна для нижних подгоризонтов лесной подстилки O(L) и верхней части элювиального горизонта (EL) 4.3-4.6 единиц pH (Dymov et al., 2018). В нижних текстурных горизонтах значения приближаются к нейтральным. Почвенный поглощающий комплекс ненасыщен основаниями. Максимальное количество обменных форм кальция и магния характерно для подгоризонтов свежего опада. Верхние элювиальные горизонты характеризуются минимальным содержанием кальция и магния, в них степень насыщенности основаниями не превышает 9-14 %. В текстурных горизонтах происходит плавное возрастание содержания кальция и магния, а так же степени насыщенности основаниями. Профильное содержание дитиониторастворимого железа изменяется от 0.4 до 1.37 %. Содержание дитиониторастворимого железа максимально в текстурных горизонтах, элювиальные горизонты обеднены дитиониторастворимым формами железа, но при этом в нижней части элювиального горизонта (EL1) наблюдается иллювиальное накопление. Горизонты естественной почвы не дифференцированы по содержанию оксалаторастворимых форм железа и алюминия. Содержание железа изменяется от 0.36 до 0.43, алюминия от 0.16 до 0.5 %.

Почва 85-летнего леса (4АС) характеризуется близкими закономерностями и значениями плотности сложения с минимальными значениями в верхней части агрогумусового горизонта по сравнению с почвой условно-фонового участка (1АС). На участках 7- (2АС) и 19-летней (3АС) залежей агрогумусовые горизонты характеризуются возрастанием плотности в верхнем агрогумусовом горизонте до значений 1.5-1.6 г $кг^{-3}$. Существенных различий в гранулометрическом составе постагрогенных почв не выявлено. Можно предположить, что при неглубокой вспашке не происходит кардинального изменения гранулометрического состава, поскольку глубина вспашки не превышает мощности залегания горизонтов элювиальной толщи. Как и в почве условно-фонового участка, верхние горизонты почв участков 2АС и 3АС представлены легкими суглинками и супесями. Нижние горизонты – средними и тяжелыми суглинками. Наибольшие отличия в физико-химических свойствах постагрогенных почв выражены при сравнении верхних минеральных горизонтов. Верхние горизонты почв на участках залежей 7 (2АС) и 19-летнего возраста (3АС) менее кислые. Кислотность водных вытяжек агрогумусовых горизонтов составляет 5.6-6.2 ед. pH. При этом в ходе формирования лесной растительности и организации лесной подстилки, происходит некоторое подкисление верхних подгоризонтов подстилки. Значения pH на участке 85-летнего ельника (4АС) приближается к значениям условно-фонового участка с минимальными показателями в верхней части агрогумусового горизонта Р1. Почвенный поглощающий комплекс характеризуется более высокими значениями степени насыщенности основаниями, наиболее наглядно это проявляется в почве участка 2АС, в горизонтах которой содержание обменного кальция в 2-2.5 раза превышает его концентрацию в элювиальных горизонтах почвы условно-фонового участка. При этом, содержание, как обменного кальция, так и обменного магния в верхних горизонтах почв участков 3АС и 4АС приближается к значениям условно-фоновой почвы. Степень насыщенности основаниями в верхних минеральных горизонтах почвы молодой залежи 2АС имеет максимальные значения – 62-67 %, по сравнению с 9-32 % в почве условно-фонового ландшафта. При этом уже на 20 год значения уменьшаются вдвое и составляют 25-50 %. Верхние горизонты почв залежи, выведенной из использования 85 лет назад, имеют значения 12-37 %.

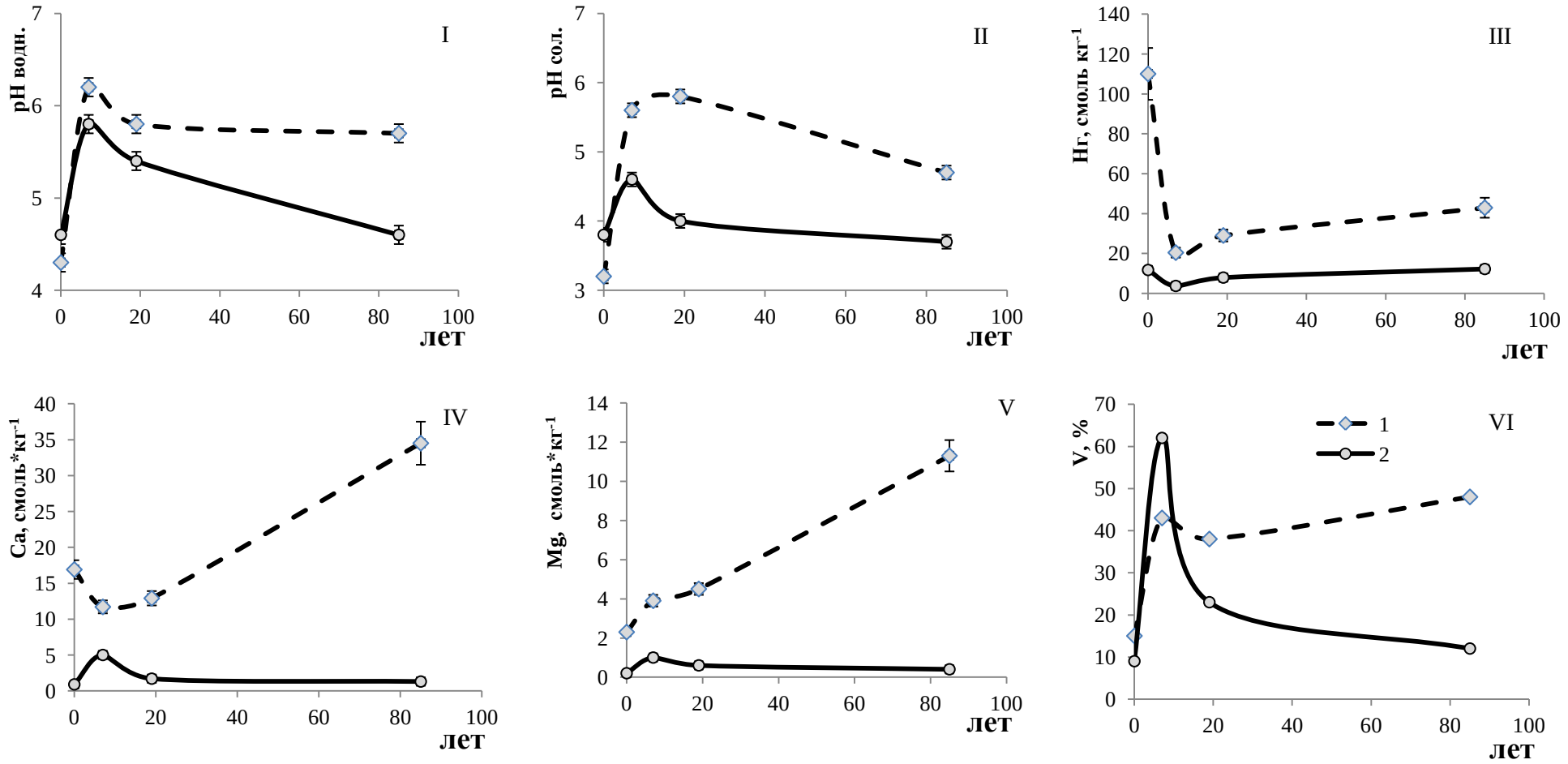


Рисунок 6.1. pH водной (I), солевой (II) вытяжек, гидролитическая кислотность (III), содержания обменного кальция (IV), обменного магния (V), степени насыщенности основаниями (VI) в органогенных (1) и верхних минеральных горизонтах (2) исследуемых почв.

Степень насыщенности основаниями текстурных горизонтов на всех сравниваемых участках имеет достаточно близкие значения, изменяющиеся от 60 до 80 %. В верхних агрогумусовых горизонтах постагрогенных почв участков 2АС и 3АС содержание дитиониторастворимого железа составляет 0.7-0.8, при возрастании в текстурных горизонтах до 1.0-1.6 %.

Использование тяжелой агрегатной техники при механической вспашке привело к возрастанию плотности почв, на участках 2-3АС, в то время как в почве участка 85-летнего ельника (4АС), не испытавшей механического воздействия, значения плотности верхних горизонтов близки к показателям условно-фонового участка. Вовлечение в сельскохозяйственное использование, применение мелиорантов, состав растений напочвенного покрова способствовали нейтрализации кислотной среды агрогумусовых горизонтов. Сдвиг кислотности среды в нейтральную область может быть связан с качественным составом растений напочвенного покрова (Vesterdal et al., 2008; Ерохова и др., 2014), представленного на участках 2 и 3АС разнотравными сообществами. При возобновлении и формировании древесного яруса с преобладанием хвойных древостоев (участок 4АС), наблюдается существенное подкисление почв. Это определяется большей долей индивидуальных кислот, выделяемых хвойными древостоями (Орлова и др., 2016). Наиболее высокими значениями содержания обменного кальция и магния характеризуются участки, находящиеся на стадии доминирования разнотравья (2-3АС). Для них степень насыщенности основаниями имеет максимальные значения, по сравнению с участками 1 и 4АС. Вероятно, это определяется двумя факторами, первый – возможное применение известкования, для изменения кислотности среды на стадии сельскохозяйственного использования на участках 2 и 3АС. Второй – влияние качественного состава разнотравного опада, богатого минеральными компонентами, способными к быстрому вовлечению в биогеохимический цикл. В почве 85-летнего ельника, сформировавшегося на землях сельскохозяйственного использования, наблюдаются менее кислые значения pH, по сравнению с участками 2АС и 3АС. Показатели кислотности в верхних минеральных горизонтах соответствуют почве условно-фонового участка, что в целом совпадает с результатами по более южным регионам (Kalinina et al., 2009; Владыченский и др., 2013; Kalinina et al., 2015).

Существенных изменений гранулометрического состава при освоении участков, как развивающихся на песках, так и развивающихся на пылеватых суглинистых отложениях не выявлено.

6.4. Органическое вещество постагрогенных почв

Содержание углерода в почве условно-фонового участка 1АС изменяется от 0.11 до 42.3 % (табл. 6.4). Наиболее высокие концентрации углерода и азота характерны для подгоризонтов подстилок 31.9-42.3 и 1.14-1.9 % соответственно. В минеральных горизонтах характерно плавно убывающее профильное распределение углерода и азота от 1.09 до 0.11 и от 0.069 до 0.02 %, соответственно. Для подстилок характерно широкое C:N отношение – 27-33. В минеральных горизонтах отношение существенно уменьшается до 18-6.

Наиболее высокие концентрации углерода водорастворимых соединений выявлены для верхнего подгоризонта подстилки – 13.8 мг $г^{-1}$. Минеральные горизонты содержат на порядок меньше Свос от 0.36 до 0.03 мг $г^{-1}$.

Содержание органических соединений, извлекаемых децинормальным раствором щелочи, в целом отражает закономерности распределения общего углерода. Наибольшее его содержание выявлено для подгоризонтов лесных подстилок почв естественного (1АС) и 85-летнего ельника, 6.7-8.9 и 5.9-8.3 % соответственно. Дерновые горизонты участков залежей (2АС и 3АС) содержат существенно меньше углерода, извлекаемого щелочной вытяжкой - 2.2-2.6 % масс. Содержание щелочерастворимых органических соединений в верхних минеральных горизонтах почв хроносерии остается достаточно стабильным – 0.18-0.54 % масс (табл. 6.5).

Таблица 6.4. Содержание общего углерода, азота и их водорастворимых форм

Участок	Горизонт	Глубина, см	C	N	C:N	Водорастворимые*	
						Свос	Nвс
			%			мг г$^{-1}$	
1AC	O(L)	0-1	42.3±1.4	1.8±0.3	27	14±3 / 3.3	0.8±0.1 / 4.6
	O(F)	2-5	41.2±1.3	1.9±0.4	25	6.4±1.3 / 1.6	0.48±0.06 / 2.5
	O(H)	5-8	31.9±1.0	1.14±0.2.0	33	5.8±1.2 / 1.8	0.258±0.03 / 2.3
	ELhi	8-15	1.09±0.20	0.069±0.021	18	0.36±0.07 / 3.3	0.0114± 0.0013 / 1.6
	EL1g	15-30	0.26±0.08	0.024	13	0.080±0.016 / 3.1	0.003±0.004 / 1.25
	EL2g	30-45	0.12	0.015	9	0.05±0.01 / 4.2	0.0021 ±0.0002 / 1.3
	BEL	45-60	0.14	0.024	7	0.05±0.01 / 3.6	0.0040±0.0005 / 1.7
	BT1	60-80	0.13	0.022	7	0.031±0.006 / 2.3	0.002±0.0002 / 0.9
	BT2	80-100	0.11	0.021	6	0.030±0.006 / 2.7	0.0031±0.0004 / 1.4
2AC	AY	0-2	9.3±1.7	0.71±0.16	15	1.39±0.28 / 1.5	0.182±0.022 / 2.6
	P1	2-15	0.86±0.20	0.099±0.026	10	0.112±0.022 / 1.3	0.009±0.001 / 0.9
	P2	15-30	0.8±0.18	0.092±0.024	10	0.120±0.024 / 1.5	0.009±0.001 / 1.0
	BEL	30-45	0.24±0.07	0.035±0.009	8	0.070±0.014 / 2.9	0.0041±0.0005 / 1.1
	BT1	45-60	0.16±0.05	0.026	7	0.052±0.01 / 3.1	0.003±0.0004 / 1.1
	BT2	60-80	0.11	0.021	6	0.033± 0.006 / 2.7	0.002±0.00024 / 0.9
	BT3	80-110	0.11	0.022	6	0.032±0.006	0.002±0.00024

						2.7	0.9
3AC	AY	0-2	8.6±1.6	0.66±0.15	23	2.7± 0.5 3.1	0.30±0.04 4.6
	P1	2-10	1.30±0.24	0.133±0.023	21	0.21±0.04 1.6	0.012±0.0014 0.9
	P2	10-20	1.13±0.20	0.106±0.018	15	0.133±0.026 1.2	0.008 ±0.001 0.8
	EL	20-30	0.20±0.06	0.028	14	0.05± 0.01 2.5	0.002±0.0002 0.7
	BEL	30-40(45)	0.24±0.07	0.034±0.009	9	0.030±0.006 1.3	0.002±0.0002 0.6
	BT1	40(45)-60	0.19±0.06	0.029	9	0.071±0.014 3.7	0.002±0.0002 0.7
	BT2	60-80	0.14	0.024	8	0.05± 0.01 3.6	0.001 ±0.0001 0.4
	BT3	80-100	0.14	0.024	6	0.042±0.008 2.9	0.001±0.0001 0.4
4AC	O(L)	0-1	39.0±1.2	2.0±0.4	23	15±3 3.8	0.87± 0.10 4.4
	O(F)	1-3	28.2±0.9	1.6±0.29	21	3.7±0.7 1.3	0.29±0.03 1.8
	P1	3-10	2.1±0.4	0.168±0.028	15	0.55 ±0.11 2.6	0.021±0.003 1.3
	P2	10-25	1.25±0.22	0.104±0.018	14	0.24 ±0.05 1.9	0.010±0.001 1.0
	EL	25-35	0.22±0.07	0.027	9	0.20 ±0.04 9.1	0.003±0.0004 1.1
	BEL	35-50	0.22±0.07	0.027	9	0.10 ±0.02 4.5	0.002±0.0002 0.7
	BT1	50-70	0.18±0.05	0.026	8	0.14 ±0.03 7.8	0.001±0.0001 0.4

*В знаменателе – процент от общего содержания углерода.

Наибольшее количество гидрофильных соединений выявлено в верхних подгоризонтах участков 1АС и 4АС, характеризуемых выраженной лесной подстилкой (рис. 6.2). Наименьшие концентрации всех фракций наблюдаются в почвах забрасываемого луга (2АС) и 19-летнего березняка, отличающихся доминированием в напочвенном покрове разнотравья. Качественный состав растительного опада, регулирует состав амфифильных фракций почвенного органического вещества. Отсутствие в составе древесного опада приводит к существенному уменьшению в составе фракций ГВ четвертой фракции предположительно связанной с пролигниновыми веществами (табл. 6.5). При этом уже на 19 году лесовозобновления (участок 3АС) наблюдается почти двукратное возрастание относительной доли лигниноподобных веществ в составе щелочерастворимого органического вещества (табл. 6.5). Последующее лесовозобновление приводит к увеличению абсолютного содержания лигниноподобных фракций гумусовых веществ в органогенных горизонтах участка 4АС (рис. 6.2).

Таблица 6.5. Относительное содержание хроматографических фракций и степень гидрофильности (Dh)

Участок	Гори-зонт	Глубина, см	С щ., %	Номер хроматографической фракции					Dh
				1	2	3	4	5	
1АС	O(L)	0-1	6,87/16.2	54.4	11.1	11.8	21.4	1.3	1.9
	O(F)	2-5	7,20/17.5	49.3	13.2	14.3	21.9	1.4	1.7
	O(H)	5-8	8,91/27.9	40.6	19.5	22.5	15.3	2.2	1.5
	ELhi	8-15	0,28/25.7	71.7	6.0	12.7	7.9	1.7	3.5
	ELg1	15-30	0,07/26.9	26.0	4.1	0.2	2.9	66.8	0.4
	ELg2	30-45	0,036/30.0	52.0	1.9	1.6	7.0	37.5	1.2
2АС	AY	0-2	2.2/23.6	70.7	7.2	12.5	7.9	1.8	3.5
	P1	2-15	0.18/20.9	51.7	4.2	8.6	26.2	9.4	1.3
	P2	15-30	0.17/21.3	47.2	4.3	9.9	29.8	8.7	1.1
	BEL	30-45	0.05/20.8	78.9	2.2	3.3	4.3	11.3	4.3
	BT1	45-60	Н.о.	76.5	3.8	3.2	5.8	10.7	4.1
3АС	AY	0-2	2.6/30.2	50.2	12.8	10.1	19.7	2.2	2.0
	P1	2-10	0.33/25.4	32.5	6.5	7.6	13.5	40.0	0.6
	P2	10-20(25)	0.29/25.7	24.6	5.9	10.3	15.5	43.8	0.4
	EL	20(25)-30	0.05/25.0	49.5	2.5	1.0	7.3	39.8	1.1
	BEL	30-40(45)	н.о.	43.1	0.1	0.9	3.2	52.7	0.8
	BT1	40(45)-60	н.о.	46.2	2.5	1.7	4.0	45.7	0.9
4АС	O(L)	0-1	8.3/21.3	61.0	13.4	11.3	12.2	2.1	2.9
	O(F+H)	1-3	5.93/21.0	48.5	14.9	15.3	16.3	5.0	1.7
	P1	3-10	0.54/25.7	40.8	14.8	20.9	12.9	10.6	1.3
	P2	10-25	0.33/26.4	57.5	15.7	10.0	13.4	3.5	2.7
	EL1	25-35	0.07/31.8	44.5	8.3	3.5	4.2	7.5	3.5
	BEL	35-50	0.06/27.3	49.2	1.8	0.0	9.0	40.1	1.0
	BT1	50-70	Н.о.	68.1	3.0	0.0	10.4	18.6	2.5

Н.о. – не определяли.

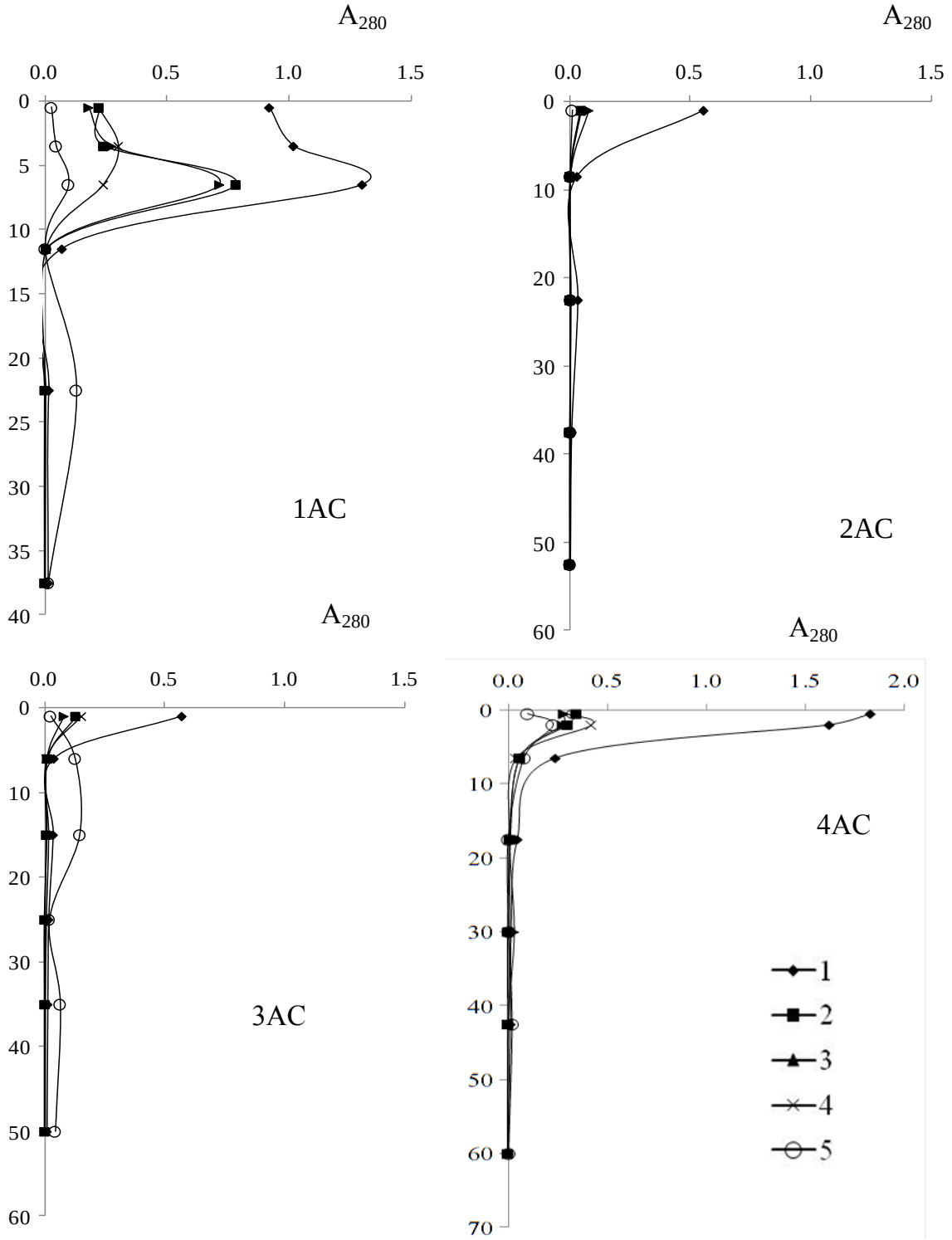


Рис. 6.2. Распределение хроматографических фракций в верхних горизонтах постагрогенных почв.

Относительное содержание водорастворимых органических соединений остается практически постоянной от 1.8 до 4.2 % от общего углерода. Общие запасы углерода составляют 9.2 кг м$^{-2}$, азота – 0.62 кг м$^{-2}$ (рис. 6.4). Значительный вклад в общие запасы углерода представлен лесными подстилками. Общие запасы

углерода и азота водорастворимых соединений составляют 229 и 12.3 мг $м^{-2}$ соответственно (рис. 6.5), при вкладе подстилок около 50 %.

Почвы постагрогенных участков, выведенных из использования семь (2АС) и 19 лет назад (3АС) существенно отличаются по содержанию и профильному распределению биофильных элементов (Dymov et al., 2018). Верхние дерновые горизонты AY характеризуются наиболее высоким содержанием, как углерода, так и азота со значениями 8.6-9.3 и 0.66-0.71 % соотвественно (табл. 6.5). В агрогумусовых горизонтах (P) концентрации углерода и азота составляют 0.8-1.3, 0.09-0.13 % соответственно. В горизонте BEL содержание углерода составляет 0.24, азота 0.034 %. Содержание углерода водорастворимых соединений существенно меньше, как в горизонтах P (1.39-2.65 мг $г^{-1}$), так и в верхних постагрогенных минеральных горизонтах, где содержание составляет 0.1–0.2 мг $г^{-1}$. Существенное уменьшается относительная доля углерода водорастворимых соединений до 1.3-1.6 %.

Запасы углерода в почвах участков 2АС и 3АС составляют 6.2 кг $м^{-2}$, азота 0.7-0.8 кг $м^{-2}$ (рис. 6.4.). В рассматриваемых почвах происходит уменьшение доли органогенных горизонтов в общие запасы углерода, при возрастании вклада верхних минеральных горизонтов. В почвах постагрогенных экосистем уменьшаются запасы углерода водорастворимых соединений по сравнению с почвами условно-фоновых ландшафтов (рис. 6.5). Схожие закономерности были выявлены и при анализе водорастворимых форм азота.

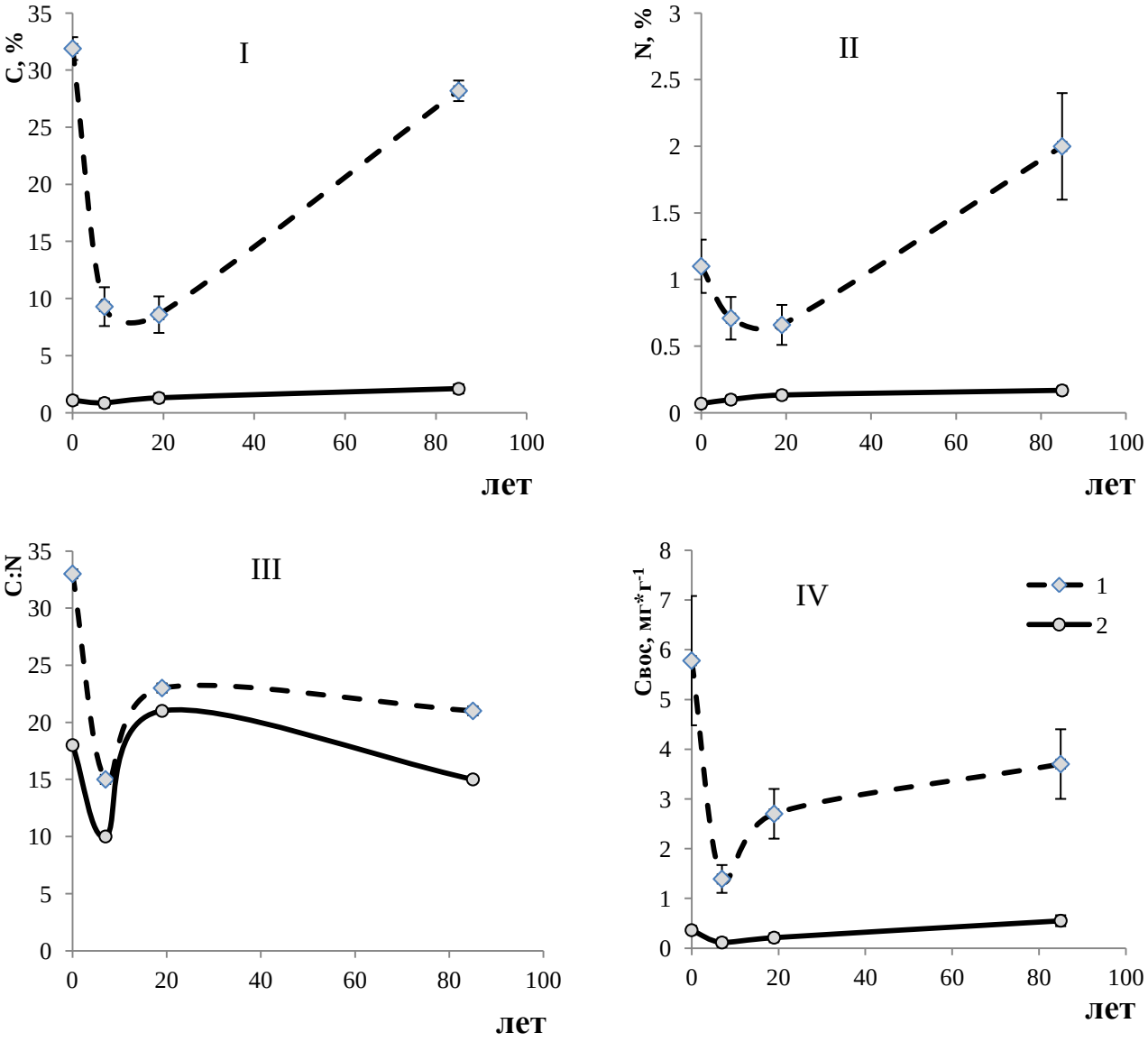


Рисунок 6.3. Содержания общего углерода (I), общего азота (II), C:N отношения (III), углерод водорастворимых соединений (IV) в органогенных (1) и верхних минеральных горизонтах (2) постагрогенных почв.

Почва участка, выведенного из использования 85 лет назад, характеризуется формированием лесной подстилки с содержанием углерода 28.2-39.0, азота 1.6-2.0 %. Верхние агрогенные горизонты (Р) отличает достаточно высокое содержание, как углерода, так и азота по сравнению со всеми участками хроносерии. Текстурные горизонты содержат достаточно низкое содержание биогенных элементов. Общие запасы углерода в метровой толще почвы составляют 8.8, азота 0.8 кг м$^{-2}$ (рис. 6.4). По сравнению с постагрогенными почвами участков 2 и 3 АС,

наблюдается двукратное возрастание содержания углерода водорастворимых форм до 360 мг м $^{-2}$ (рис. 6.5.), при существенно меньшем запасе водорастворимых соединений азота составляющих около 10 мг м$^{-2}$.

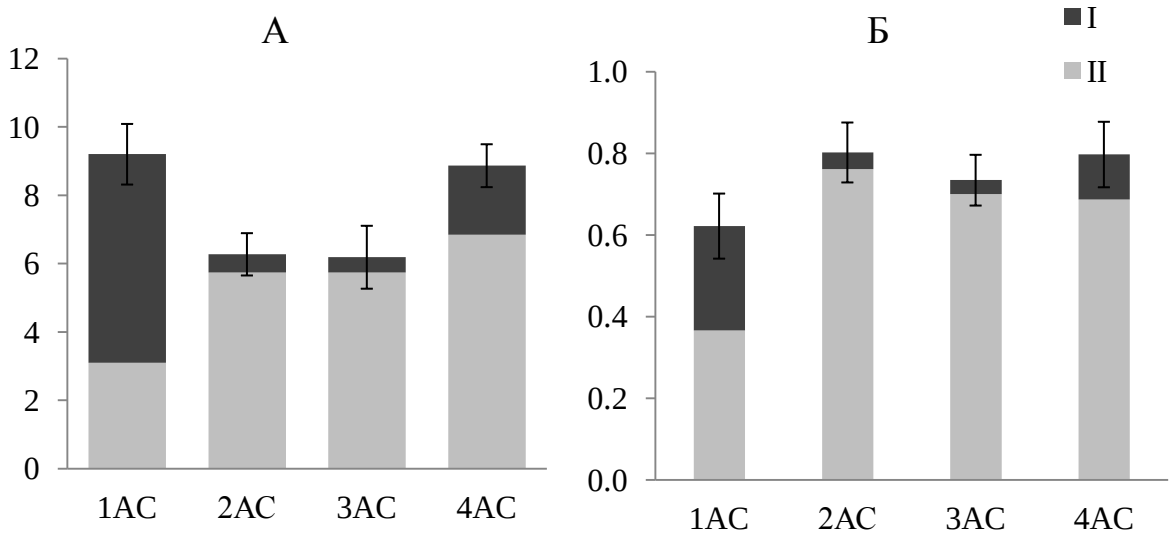


Рисунок 6.4. Запасы углерода (А) и азота (Б) в почвах кг м$^{-2}$. Обозначения: I – органогенные горизонты; II – минеральные горизонты. Обозначения участков, как в таблице 1.

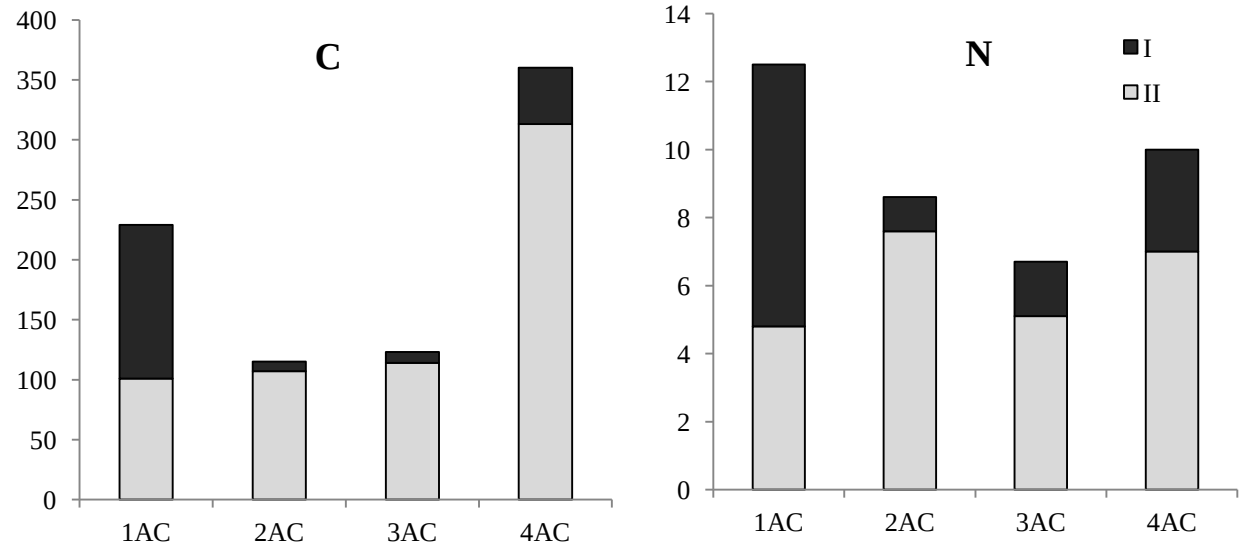


Рисунок 6.5. Запасы углерода (С) и азота (N) водорастворимых соединений мг*м$^{-2}$. I – органогенные, II – минеральные горизонты.

Для сравнения свойств почв было проведено фракционирование верхних минеральных горизонтов почв. Фракции $СОВ_{<1.6}$ и $ООВ_{<1.6}$ условно-фоновой почвы характеризуются высокими содержаниями углерода, от 20.6 до 37.2 % (табл. 6.6). Содержание углерода в тяжелых фракциях элювиальных горизонтов составляет 0.10-0.52 %. Для фракций свободного и окклюдированного органического вещества

характерны высокие значения отношения C:N (40-90), что свидетельствует о преобладании в них грубогумусированных растительных остатков. Для тяжелых фракций выявлено значительно более узкое отношение C:N 1-13. Во фракциях свободного органического вещества верхних агрогумусовых горизонтов почвы семилетней залежи (2АС) и 19-летнего березняка (3АС) выявлено существенное уменьшение содержания углерода и сужение C:N отношения. Во фракциях свободного и окклюдированного органического вещества в почве 19-летней залежи наблюдается расширение отношения C:N. В тяжелых фракциях, выделенных из постагрогенных горизонтов почв участков 2-4 АС, определены более высокие, по сравнению с условно-фоновым участком, содержание углерода 0.37 до 1.08 %. Во фракциях $СОВ_{<1.6}$ и $ООВ_{<1.6}$, 85-летнего вторичного ельника выявлено возрастание содержания углерода до 31.9-43.4 %, при этом наибольшие концентрации обнаружены во фракциях окклюдированного органического вещества.

Вовлечение и вывод из сельскохозяйственного использования приводит к существенным изменениям в составе почвенного органического вещества. Крайне важным является первый этап освоения лесных территорий. Пирогенный фактор, сопутствующий вовлечению лесных территорий в сельскохозяйственное использование достаточно четко отражается в морфологических свойствах всех рассматриваемых участков. Наиболее высокие концентрации углерода и азота выявлены в подстилочных горизонтах почвы условно-фонового участка, вторичного 85-летнего елового леса. Набольшие изменения в составе органического вещества связаны с удалением и последующим формированием подстилочных горизонтов. В постагрогенных почвах наблюдается возрастание углерода в верхних минеральных горизонтах, по сравнению с горизонтами, располагающимися на соответствующих глубинах в условно-фоновой почве. Качественный состав растительного опада, на участке 2АС, более богатый азотом, способствует существенному сужению отношения C:N в верхних горизонтах почвы, забрасываемого луга (2АС). Уже на стадии формирования лиственного леса (3АС), и вовлечения в состав древесного опада, наблюдается расширение отношения C:N до 21-23 в верхних горизонтах. Водорастворимые соединения углерода и азота являются важными компонентами почвенного органического

вещества и в значительной степени зависят от типа леса и состава растений напочвенного покрова (Дымов и др., 2018). Основными продуцентами водорастворимых соединений углерода и азота являются древесные растения и растения кустарничково-мохового яруса (Пономарева, 1964; Прокушкин и др., 2011), что подтверждается концентрациями в почвах участков 1 и 4АС (табл. 6.3). Можно предположить, что именно эти соединения будут играть главную роль при активизации подзолообразовательного процесса в почвах таежной зоны при естественном лесовозобновлении на залежах и способствовать большей выраженности элювиальной толщи.

Почвы условно-фонового участка содержат значительные запасы углерода, значения которых близки к ранее опубликованным для данной территории (Dymov et al., 2015; Коренные…, 2006), но при этом несколько меньшие значения, чем в для почв стран западной Европы (Jones et al., 2010; Wiesmeier et al., 2012). Анализ общих запасов, сосредоточенных в лесных почвах, позволяет сделать вывод, что при освоении лесных почв, удалении подстилки, происходит существенное снижение запасов углерода в лесных почвах (рис. 6.4), при этом уменьшение происходит преимущественно за счет сокращения вклада подстилки.

Необходимо отметить, что при снижении общих запасов, возрастают запасы, сосредоточенные в верхних минеральных горизонтах, и они остаются достаточно стабильными в почвах сравниваемых постагрогенных участков в ходе сукцессии (2-4 АС). Схожие закономерности увеличения запасов в subsurface soil layers описаны и для почв Loess Plateau в Китае (Zhao et al., 2015). Возрастание общих запасов углерода на стадии формирования 85-летнего леса происходит за счет лесной подстилки, запасы приближаются к значениям условно-коренного леса. Запасы азота имеют несколько другую зависимость – в постагрогенных почвах наблюдаются более высокие запасы азота, по сравнению с почвой условно-коренного леса, что вероятно связано с более высокой концентрацией элемента в составе разнотравного опада, а так же с вероятным использованием азотных удобрений при выращивании трав. Близкие закономерности выявлены и для запасов водорастворимых соединений углерода (рис. 6.5). Наименьшие запасы водорастворимых органических соединений выявлены в почвах участков

выведенных из использования 7-19 лет назад, при этом основа водорастворимых соединений углерода сосредоточена в минеральных горизонтах. Почвы естественного (1АС) и вторичного (4АС) лесов отличают большие запасы соединений углерода водорастворимых соединений (рис. 6.4). Вероятно, высокие запасы водорастворимых соединений углерода связаны и определяются древесным ярусом, корневыми выделениями и соединениями, вымываемыми из состава древесных растений (Робакидзе и др., 2013). Кроме этого важную роль в величине запасов водорастворимых соединений могут играть мхи и кустарнички напочвенного покрова. Близкие закономерности прослеживаются и при анализе азота водорастворимых соединений.

Анализ денсиметрических фракций показал, что в верхних горизонтах почвы условно-фонового участка основу (по массе) составляют тяжелые фракций, что в целом типично для бореальных почв (Дымов, Милановский, 2014; Dymov, Gabov, 2015; Дымов и др., 2015б). Наиболее высокие концентрации углерода и азота, наоборот характерны для фракций свободного и окклюдированного органического вещества. Наиболее чутко реагирует на изменение характера землепользования отношение C:N фракции свободного органического вещества верхнего горизонта. Наиболее высокие значения характерны для фракций $ООВ_{<1.6}$ условно-фоновой почвы (табл. 6.5-6.6). Минимальные значения выявлены для почвы забрасываемого сенокоса (2АС). В процессе зарастания сенокосных угодий древесной растительностью в состав легких фракций попадает корневой опад, бедный азотом и приводящий к возрастанию отношения C:N. Особенно наглядно это проявляется в нижних агрогумусовых горизонтах участков 3-4АС. Существенно изменяется и вклад отдельных фракций в общее содержание углерода в агрогумусовых горизонтах и соответствующим и элювиальным горизонтам условно-фоновой почвы (рис. 6.6-6.7.).

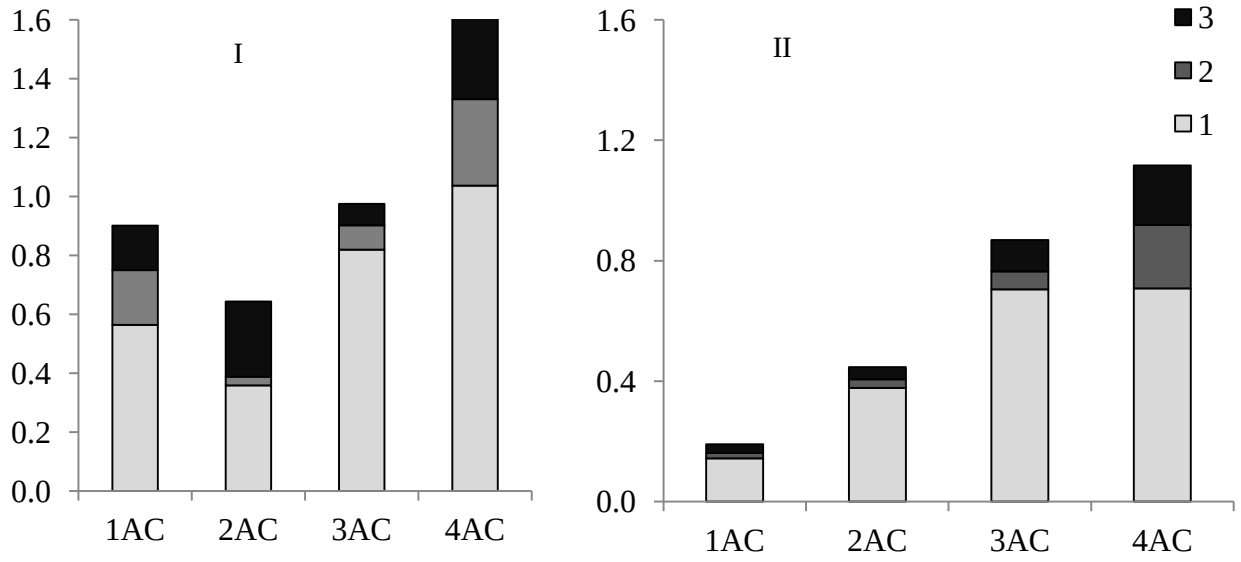


Рисунок 6.6. Вклад углерода в верхних минеральных горизонтах 3-15 см (I) и с глубины 10(15)-25(30) (II) в рассматриваемых почвах. Обозначения фракций: 1 – $ТФ_{>1.6}$; 2 – $ООВ_{<1.6}$; 3 – $СОВ_{<1.6}$.

В почве семилетней залежи в верхней части агрогумусового горизонта наблюдается минимальное содержание, при достаточно низком вкладе окклюдированного органического вещества. В ходе дальнейшей сукцессии выявлено постепенное возрастание углерода, за счет содержания во всех фракциях. Для нижней части агрогумусового горизонта, в ходе рассматриваемой сукцессии, так же наблюдается постепенное возрастание вклада углерода всех фракций.

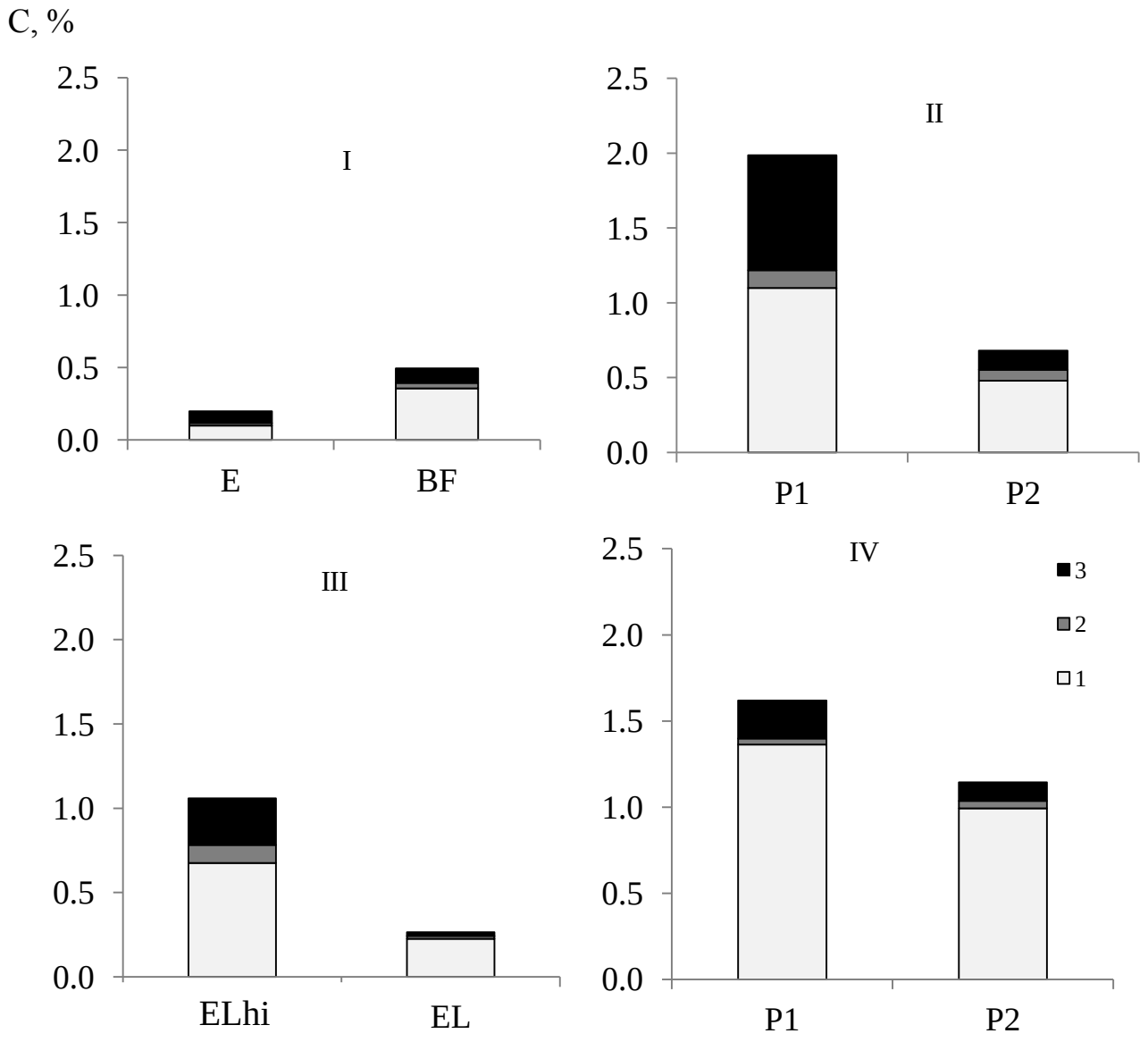


Рисунок 6.7. Вклад различных фракций верхних горизонтов исследуемых почв в общее содержание углерода. Обозначения: I – подзол иллювиально-железистый; II – агродерново-подзол иллювиально-железистый; III– подзолистая текстурно-дифференцированная; IV – агрозем текстурно-дифференцированный. Обозначения фракций: 1 – $ТФ_{>1.6}$; 2 – $ООВ_{<1.6}$; 3 – $СОВ_{<1.6}$.

Таблица 6.5. Содержание углерода и азота (%), C:N соотношение в денсиметрических фракциях

Участок	Горизонт, (глубина, см)	Фракция	C	N	C:N
			%		
1AC	ELhi (8-15)	$СОВ_{<1.6}$	21.3±0.7	0.57±0.1	44
		$ООВ_{<1.6}$	37.2±1.2	0.48±0.08	90
		$ТФ_{>1.6}$	0.52±0.12	0.048±0.012	13
	ELg1 (15-30)	$СОВ_{<1.6}$	31.6±1.0	0.92±0.16	40
		$ООВ_{<1.6}$	20.6±0.7	0.40±0.07	60
		$ТФ_{>1.6}$	0.1*	0.160*	1
2AC	P1 (2-15)	$СОВ_{<1.6}$	12.0±0.4	0.72±0.13	19
		$ООВ_{<1.6}$	15.2±0.5	0.81±0.15	22
		$ТФ_{>1.6}$	0.37±0.11	0.050±0.013	9
	P2 (15-30)	$СОВ_{<1.6}$	19.5±0.6	0.90±0.16	25
		$ООВ_{<1.6}$	1.2±0.4	0.64±0.12	22
		$ТФ_{>1.6}$	0.39±0.12	0.056±0.015	8
3AC	P1 (2-10)	$СОВ_{<1.6}$	15.3±0.5	0.47±0.08	38
		$ООВ_{<1.6}$	13.7±0.4	0.53±0.1	30
		$ТФ_{>1.6}$	0.84±0.19	10.3±1.8	9
	P2 (10-25)	$СОВ_{<1.6}$	33.6±1.1	0.84±0.15	47
		$ООВ_{<1.6}$	46.1±1.5	1.51±0.27	36
		$ТФ_{>1.6}$	0.73±0.17	0.083±0.022	10
4AC	P1 (3-10)	$СОВ_{<1.6}$	21.3±0.7	0.85±0.15	29
		$ООВ_{<1.6}$	43.4±1.4	1.42±0.26	36
		$ТФ_{>1.6}$	1.08±0.2	0.107±0.018	12
	P2 (10-25)	$СОВ_{<1.6}$	21.8±0.7	0.67±0.12	38
		$ООВ_{<1.6}$	31.9±1.0	0.88±0.16	42
		$ТФ_{>1.6}$	0.72±0.17	0.073± 0.019	11

*Ниже предела определения.

Таблица 6.6. Содержание углерода и азота, C:N отношение в денсиметрических фракциях

Горизонт (глубина, см)	Фракция	C	N	C:N
		%		
Подзол иллювиально-железистый (1АС(Р))				
E(9-20)	$СОВ_{<1.6}$	11.3±0.4	0.24±0.04	55
	$ООВ_{<1.6}$	8.1±1.5	0.148±0.025	63
	$ТФ_{>1.6}$	0.1	0.01	12
BF(20-55)	$СОВ_{<1.6}$	25.7±0.8	0.50±0.09	60
	$ООВ_{<1.6}$	13.3±0.4	0.54±0.10	29
	$ТФ_{>1.6}$	0.36±0.11	0.03	14
Агродерново-подзол иллювиально-железистый (2АС(Р))				
P1 (0-8)	$СОВ_{<1.6}$	23.5±0.8	1.42±0.26	19
	$ООВ_{<1.6}$	5.8±1.0	0.37±0.06	18
	$ТФ_{>1.6}$	1.18±0.21	0.111±0.019	12
P2 (8-18)	$СОВ_{<1.6}$	19.2±0.6	0.56±0.1	40
	$ООВ_{<1.6}$	9.0±1.6	0.36±0.06	29
	$ТФ_{>1.6}$	0.49±0.15	0.048±0.012	12
Подзолистая текстурно-дифференцированная (1-1АС)				
EL (5-20)	$СОВ_{<1.6}$	34.4±1.2	1.23±0.14	33
	$ООВ_{<1.6}$	37.0±1.3	0.75±0.08	58
	$ТФ_{>1.6}$	0.69±0.16	0.069±0.014	12
EL (20-30)	$СОВ_{<1.6}$	30.6±1.1	0.95±0.10	38
	$ООВ_{<1.6}$	4.2±0.6	0.3±0.06	16
	$ТФ_{>1.6}$	0.23±0.05	0.041±0.008	7
Агрозем текстурно-дифференцированный (1-2АС)				
P1 (0-10)	$СОВ_{<1.6}$	23.7±0.8	0.95±0.17	29
	$ООВ_{<1.6}$	9.5±1.7	0.6±0.11	18
	$ТФ_{>1.6}$	1.19±0.21	0.121±0.021	11
P2 (10-20)	$СОВ_{<1.6}$	32±1.0	1.51±0.27	25
	$ООВ_{<1.6}$	22.6±0.7	0.84±0.15	31
	$ТФ_{>1.6}$	1.02±0.18	0.097±0.025	12

Содержание углерода в минеральных горизонтах максимально в почве 85-летнего леса, сформировавшегося на залежи. Вероятно, это может определяться пирогенным фактором, и формированием устойчивого, связанного с минеральной матрицей, органического вещества. Таким образом, показано, что в почвах средней тайги, сформированных на суглинистых отложениях, в ходе постагрогенной сукцессии происходит существенное секвестирование углерода, как в подстилках, так и в верхних минеральных горизонтах. На основании полученных результатов можно сделать выводы, что вовлечение лесных земель в сельскохозяйственное

использование может приводить к минерализации углерода в объемах 3 кг $м^{-2}$, которая происходит в течение нескольких лет при освоении участков, т.е. вовлечении данных земель в сельскохозяйственное пользование. Скорость секвестирования углерода при зарастании сенокосных угодий существенно более растянута во времени и составляет около 30-40 г $м^{-2}$ $год^{-1}$, что совпадает со средними значениями представленными Poeplau & Don (2015). При сравнении 85-летнего цикла (участки 1 и 4 АС), запасы углерода имеют сравнимые значения, но при этом в почве вторичного постагрогенного фитоценоза большая часть углерода закреплена в минеральных горизонтах, при меньшем вкладе подстилки вероятно, будет еще возрастать в ходе последующей сукцессии растительности.

Оценка доли денсиметрических фракций позволила выявить, что в исследуемых почвах основу составляют органоминеральные тяжелые фракции (HF). При этом выделяемые фракции существенно отличаются по содержанию углерода и азота. При анализе фракций подзола иллювиально-железистого (1АС(Р)) показано, что наибольшие содержания углерода и азота содержат фракций свободного органического вещества, как в Е, так и в BF горизонтах (табл. 6.6). Минимальные концентрации характерны для тяжелой органоминеральной фракции. Содержание углерода в органоминеральной фракции иллювиально-железистого горизонта выше, чем подзолистом горизонте. Для фракций свободного вещества характерно достаточно широкое отношение C:N, что свидетельствует о доминировании в рассматриваемых фракциях слаборазложившихся растительных остатков. В агроземе иллювиально-железистом (2АС (Р)) выявленные ранее закономерности по содержанию углерода и азота в отдельных фракциях сохраняются (табл. 6.6). Для свободного органического вещества элювиальных горизонтов подзолистой почвы характерно высокое содержание углерода, и достаточно широкое отношение C:N. Рассмотрение вклада отдельных фракций в общее содержание углерода показало, что наибольший вклад вносят именно органоминеральные фракции (рис. 6.6-6.7). При этом общее содержание в верхних минеральных горизонтах подзолистой почвы (1-1АС) в два раза выше, чем в подзоле (1АС(Р)).

Сельскохозяйственное освоение изменяет вклад и содержание отдельных денсиметрических фракций. В верхних горизонтах агроземов происходит увеличение вклада фракций $СОВ_{<1.6}$ и $ООВ_{<1.6}$. Наиболее высокими концентрациями углерода характеризуются фракции свободного органического вещества. Полученные данные совпадают с результатами (Когут и др., 2010; Семёнов, Когут, 2015), которые так же отмечают, что наиболее обогащены углеродом во всех изученных ими вариантах легкие фракции. Органическое вещество денсиметрических фракций существенно отличается от фракций почв условно-фоновых участков по отношению C:N. Возрастание общего углерода почв в агрогумусовых горизонтах происходит за счет органического вещества в составе $HF_{<1.6}$ фракций, а так же фракции $СОВ_{<1.6}$.

Таким образом, показано, что в ходе постагрогенной сукцессии происходит смена видов-доминантов на фоне контрастных изменений условий окружающей среды. Для сообществ начальных стадий характерно преобладание видов с рудеральными свойствами (С-виды в системе функциональных типов по Грайму). Для более поздних этапов сукцессии характерны такие черты растительного покрова, которые сближают его состав и структуру с условно-коренными лесами региона.

Выявлено, что почвы залежей, выведенных из использования на территории средней тайги Республики Коми, существенно отличаются от естественных ненарушенных лесных почв. Выраженность элювиального и субэлювиального горизонтов, в значительной степени, определяется глубиной вспашки, и продолжительностью сельскохозяйственного использования данных участков. Мулеобразная подстилка формировалась на пахотных участках через стадию маломощного дернового горизонта в течение 85 лет. Почвы залежей находящихся на первых этапах зарастания лесной растительностью (7-19 лет после выведения из использования) менее кислые, характеризуются более высокой степенью насыщенности основаниями и преобладанием обменных форм кальция и магния в почвенном поглощающем комплексе. Верхние минеральные горизонты характеризуются большей плотностью по сравнению с условно-фоновыми участками. Почвы залежей характеризуются меньшими запасами углерода, по

сравнению с условно-фоновой почвой. При этом меньшие запасы в основном связаны отсутствием лесных подстилок. Отличия выявлены и в верхних минеральных горизонтах: в ряду от 7 к 85 летней залежи наблюдается возрастание углерода. При этом по результатам денсиметрического анализа, именно за счет углерода тяжелых фракций, связанных с минеральной составляющей. Таким образом, можно предположить, что в ходе вторичной постагрогенной сукцессии наблюдается секвестирование углерода, как в верхних минеральных горизонтах, так и в лесных подстилках. Агрогумусовый горизонт (в том числе и сформированный при подсечном земледелии) в лесных почвах сохраняется достаточно длительное время (как минимум до 85 лет). Использование лесных почв в качестве подсек может приводить к формированию хорошо выраженного горизонта Р под подстилкой. Следовательно, для территории средней тайги и северной части южной тайги можно предположить, что формирование части дерново-подзолистых почв связанно с ведением подсечно-огневого хозяйства в лесных почвах, а не с более благоприятными климатическими условиями. Особенно, это относится к территориям расположенных вблизи (до 3-5 км) от селитебных территорий поселений основанных ранее 18 века. Исторические особенности землепользования необходимо учитывать, при проведении почвенных исследований.

Наибольшие различия, по сравнению с условно-фоновым участком выявлены в почвах, формирующихся на песчаных почвообразующих породах. В верхних минеральных горизонтах постагрогенных почв наблюдается возрастание общего углерода. Увеличение преимущественно связано с органическим веществом, прочно связанном с минеральной матрицей. Денсиметрическое фракционирование образцов сенокосных угодий РК показало, что в почвах лесных условно-фоновых участков в верхних минеральных горизонтах преобладают тяжелые фракции с плотностью >1.6 г $см^{-3}$. Наиболее высокие содержания углерода и азота выявлены во фракциях свободного и окклюдированного органического вещества, минимальные для фракций органических соединений, связанных с минеральной матрицей.

ГЛАВА VII. ВТОРИЧНЫЕ ПОЧВЕННЫЕ СУКЦЕССИИ

7.1. Морфологогенетическая диагностика почвенных сукцессий

Рубки, пожары, сельскохозяйственное освоение существенно изменяют морфологические свойства почв. При этом глубина и характер нарушений в значительной степени определяется особенностями воздействий. С позиции выявления общих закономерностей функционирования почвенных систем предприняты попытки систематизации воздействия в зависимости от силы, интенсивности и характера воздействия. Для оценки изменений лесных почв, необходимо оценить последствия воздействий различных факторов на экосистемы и рассмотреть изменение основных свойств почв и факторов, способствующих их изменению. Таким образом, стадии вторичных сукцессий лесных почв можно разделить: 1 – естественно развивающиеся экосистемы; 2 – вовлеченные в определенный вид хозяйственной деятельности; 3 – находящиеся на этапе естественного возобновления древесной растительности.

Наибольшие изменения лесных почв происходят при непосредственном воздействии. Изменения почв имеют ряд общих закономерностей, но при этом наблюдается и ряд различий (табл. 7.1). Напрямую, в ходе промышленных рубок происходит нарушение морфологических свойств лесных почв на трелевочных волоках и лесопогрузочных площадках, в то время как на пасечных участках морфологические свойства изменяются уже в ходе лесовосстановительной сукцессии. На основании проанализированных данных подзолистые почвы на пасечных участках будут проходить стадии подзолистых глееватых почв, и в ходе дальнейшего лесовозобновления будут возвращаться к близкому к исходному состоянию. Подзолы литобарьерные на первых стадиях после рубки на пасечных участках трансформируются в торфяно-подзолы глеевые литорабрьерные, которые после смыкания крон вновь формирующегося леса, приводят к образованию подзолов литобарьерных глееватых. Подзолистые почвы и подзолы литобарьерные на трелевочных волоках и лесопогрузочных площадках трансформируются в турбоземы детритные, сохраняющие диагностирующее строение длительное время. Вероятно в дальнейшем, турбоземы могут эволюционировать в дерново-подзолистые почвы.

Пирогенные изменения почв зависят от типа горючего материала, сезона пирогенного воздействия, исходного типа леса и интенсивности пожара. Пирогенные изменения прослеживаются на различной глубине. Так, при беглых низовых пожарах происходит лишь частичное сгорание подстилок, при верховых и низовых пожарах высокой интенсивности прямому пирогенному воздействию подвержены верхние минеральные горизонты до глубины 20-30 см. Почвы фитоценозов, подвергнувшихся пожарам, трансформируются в пирогенные подтипы: подзолы пирогенные, подзолистые пирогенные, торфяно-подзолы пирогенные. Признаки пирогенеза сохраняются в почвах длительное время, как минимум до 150 лет.

Вовлечение лесных земель в сельскохозяйственное использование включает в себя несколько этапов воздействий. В большинстве случаев ключевым являлся этап подсечно–огневого земледелия, включающий сжигание и последующую вспашку. Данная технология существенно изменяет морфологические и физико-химические свойства почв.

Таблица 7.1. Изменение параметров формирования почв при преобладающих типах воздействии на лесные экосистемы

Процесс	Рубки	Пожары	Сельскохозяйственное использование
Изменение морфологического строения	+	+	+
Изменение водного режима	+	+	+
Изменение состава опада	+	+	+
Изменение температурного режима	+	+	+
Переуплотнение	+	+	+
Уменьшение углерода сосредоточенного в подстилках	?	+	+
Изменение содержания и запасов углерода в минеральных горизонтах	+	+	+
Влияние на состав поверхностных и грунтовых вод	+	+	+

На территории, подверженной вовлечению в сельскохозяйственное освоение, происходит полная трансформация подстилочных горизонтов, подстилки полностью минерализуются или частично продукты их разложения закрепляются в

минеральных горизонтах. Подзолистые почвы трансформируются в агроземы текстурно-дифференцированные, подзолы в агродерново-подзолы. На старых залежах выявлены агродерново-подзолистые почвы.

Можно констатировать, что при преобладающих типах воздействий на почвы, лесных ландшафтов, фиксируется изменение морфологического строения, водного и температурного режимов почв, уменьшение углерода, сосредоточенного в подстилках. Возможно негативное воздействие на поверхностные водотоки.

Дальнейшее изменение свойств почв происходит в ходе лесовозобновления растительности. Результаты исследований позволили сформулировать основы систематического списка преобладающих вторичных почвенных сукцессий в бореальной зоне (табл. 7.2). Рассматриваемые сукцессии предложено изначально разделить в зависимости от типа импакта на послерубочные, постпирогенные, постагрогенные и комплексные (при влиянии нескольких типов воздействий, например, палов на вырубках). Дальнейшее деление предлагаем проводить по глубине и характеру воздействия. Во всех сукцессиях присутствуют участки с механическими нарушениями верхних минеральных горизонтов, возникающие при вспашке, турбировании трелевочными агрегатами, пожарах средней и высокой интенсивности – при полном выгорании подстилочных горизонтов. Менее нарушенные участки почв, характеризующиеся изменением растительности на пасечных участках вырубок, или при частичном выгорании подстилочных горизонтов при беглых низовых пожарах, предлагаем выделять в градацию «поверхностных». Вероятно, в данную градацию (поверхностные) возможно отнести участки лесов, пройденных однократным использованием в качестве подсек.

Дальнейшее деление почвенных сукцессий следует осуществлять в зависимости от характера возобновления лесной растительности на естественное, искусственное (управляемое) и комплексное (допустим, содействие естественному лесовозобновлению на вырубках).

Таблица 7.2. Систематизация преобладающих вторичных почвенных сукцессий в лесных экосистемах

По типу воздействия	Послерубочные	Постпирогенные	Постагрогенные
Глубина и характер воздействия	***Поверхностные***		
	на пасечных участках	*беглые низовые пожары*	одноразовое использование в качестве подсек
	Полнопрофильные		
	Турбогенные *на физически нарушенных участках – волоках и лесопогрузочных площадках*	*пожары средней и высокой интенсивности, гари*	при механической вспашке
		Очаговые *полугидроморфные почвы*	
Характер восстановления	Естественное / Управляемое / Комплексное		
Преобладающий ЭПП	Подстилкообразование, глеевый, дерновый, иллювиально-гумусовый		
Характер изменения системы ПОВ	Углерод депонирующие; углерод эмитирующие; нейтральные		

Важную роль в классификации изменений почвенных свойств оказывают преобладающие элементарные почвообразовательные процессы, активизирующиеся на отдельных этапах почвенных сукцессий (Элементарные …, 1992). В существующих реалиях климатических изменений крайне важно учитывать роль почв в балансе углерода в экосистемах. В связи с чем предлагаем включить отдельный пункт, описывающий характер изменения системы почвенного органического вещества. Следует предложить выделение углерод депонирующих и, наоборот, углерод эмитирующих почвенных сукцессий.

Наиболее морфологически выраженными являются изменения верхних генетических горизонтов почв. Наиболее сложны для диагностики почвы пасечных участков вырубок, поскольку на них механические нарушения почв отсутствуют, морфологические различия, по сравнению с естественными ненарушенными сообществами выражены в наименьшей степени. Подробные изменения

морфологической выраженности рассматриваемых процессов приведено в главе 4. Наиболее четко диагностируемыми признаками являются активизация процессов оглеения, конкрециообразования, подстилкообразования. Для почв механически нарушенных участков волоков и лесопогрузочных площадок характерно формирование турбированного горизонта с высоким содержанием КДО (TUR cwd), данный горизонт сохраняется достаточно длительное время, при этом морфологически формируется дерновый горизонт, увеличивается степень разложения КДО. Для значительного числа почв диагностируется возрастание плотности сложения минеральных горизонтов, сохраняющихся довольно долго.

Пирогенные нарушения почв в основном затрагивают верхние генетические горизонты, выраженность пирогенных признаков зависит от параметров пожара. Мощность пирогенного горизонта может варьировать от нескольких до десятков сантиметров. В первое время после пожара наблюдаются признаки потечности в верхних минеральных горизонтах. По истечении времени наибольшую диагностическую роль играют углистые включения, расположенные в нижней части постилки и верхних минеральных горизонтах. Для пирогенных почв, так же типично возрастание потечности гумуса, гидрофобизации верхних минеральных, в том числе иллювиальных горизонтов.

Для постагрогенных почв наиболее типичным является сохранение агрогумусового (старопахотного) горизонта, обычно со следами углистых включений, свидетельствующих о подсечном этапе земледелия. Значительная площадь селькохозяйственных территорий, выведенных из активного пользования, на территории средней тайги проходит стадию сенокосов. В ходе сукцессийонных смен наблюдается постепенная смена дернового горизонта маломощной подстилкой. С возрастом залежи возрастает выраженность элювиальных горизонтов, что вероятно связанно с возрастанием продукции водорастворимых форм органических соединений.

На рисунке 7.1 приведена наиболее вероятная схема изменения подзолистых почв в ходе полнопрофильных почвенных сукцессий.

На различных этапах сукцессионного развития экосистем интенсивность выраженности ЭПП различна. Так, для вырубок характерно развитие процессов заболачивания на первых этапах после рубок. На втором и третьем десятилетии

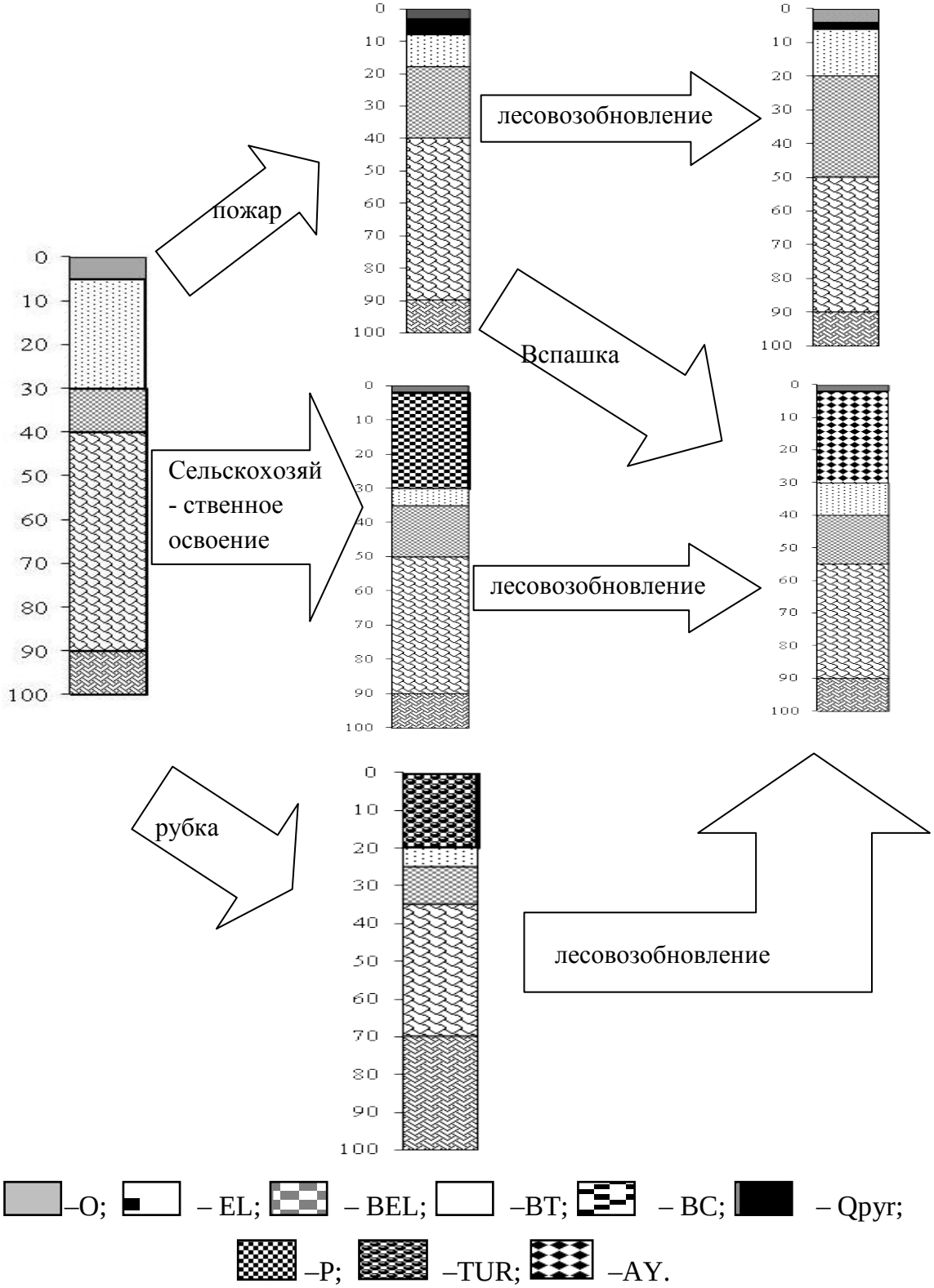


Рисунок 7.1. Основные этапы сукцессионных изменений среднетаежных подзолистых почв в ходе полнопрофильных сукцессий (послепожарные, постагрогенные, послерубочные).

после воздействия интенсивность процессов заболачивания существенно уменьшается. Лесная подстилка является одним из наиболее чутко реагирующих параметров на изменение гидрологического режима лесных территорий. В таблице 7.3 приведены интервалы изменений значений, составляющие от минус 0.04 до 0.69 см год$^{-1}$. При этом в различных типах леса и почвенных условий изменение мощностей подстилок после рубок происходит по-разному. В подзолах под ельниками и сосняками после рубок происходит минерализация подстилок со скоростью 0.04 см год$^{-1}$. Наибольший рост мощности подстилок выявлен для почв с возможным водоупором нижними генетическими горизонтами (двучленные отложения) в первые десятилетия после рубок и составляет 0.4-0.69 см год$^{-1}$.

Таблица 7.3. Предполагаемые интервалы изменения скоростей кислотности и подстилкообразования в почвенных сукцессиях лесных ландшафтов

Процесс	Диагностический параметр	Скорости процессов		
		I	II	III
Изменение кислотности (подстилки)	ед. pH год$^{-1}$	-0.03 до 0.05	0.1	0.011
Изменение кислотности (мин. горизонты)	ед. pH год$^{-1}$	0.03-0.08	–	0.01
Подстилкообразование/деградация подстилки	см год$^{-1}$	от -0.04 до 0.69	0.062-0.33	0.035

I – послерубочные; II – постпирогенные; III – постагрогеные. Прочерк – не выявлено.

7.2 Органическое вещество почвенных сукцессий

Почвенное органическое вещество чутко реагирует на различные типы антропогенных воздействий и отражает отдельные этапы восстановительной сукцессии. В таблице 7.4 представлены общие закономерности изменения системы ПОВ непосредственно при факте воздействия и в ходе естественного возобновления растительности с разбивкой на поверхностные и полнопрофильные сукцессии. Пулы почвенного органического вещества в различной степени изменяются при рассматриваемых внешних факторах. Рубки леса на пасечных участках слабо влияют на запасы углерода и азота, но при этом в ходе естественного лесовозобновления возможно как возрастание, так и уменьшение

запасов углерода в зависимости от гидрологических условий, типа леса и особенностей проведения лесозаготовительных работ. На механически нарушенных участках наблюдается снижение запасов углерода в подстилках, при возрастании данного показателя в ходе сукцессии до уровня условно-фоновых значений. Но при этом, в турбоземах сосредоточены значительные количества углерода в КДО, которые не разлагаются длительное время и могут способствовать возрастанию общих запасов углерода и азота в длительной перспективе. Вовлечение в сельскохозяйственное использование способствует уменьшению запасов в почвах, но при дальнейшем естественном лесовозобновлении наблюдается увеличение запасов, как подстилок, так и верхних минеральных горизонтах (табл. 7.4). В поверхностных сукцессиях всех типов наблюдается обогащение органического вещества органогенных горизонтов азотом в ходе вторичных сукцессий.

На первых этапах в ходе постпирогенных и постагрогенных поверхностных и полнопрофильных сукцессий происходит уменьшение содержания щелочерастворимого органического вещества, при последующем его восстановлении его концентрации. В пирогенных и постагрогенных почвах наблюдается возрастание гидрофильности органического вещества при дальнейшем уменьшении данного показателя. Лесные подстилки регулируют содержание водорастворимых форм органических соединений. Удаление подстилок в почвах полнопрофильных сукцессий приводит к существенному снижению углерода водорастворимых соединений, особенно в почвах подвергнувшихся пожарам и сельхозяйственному освоению.

Состав денсиметрических фракций отражает особенности антропогенного воздействия. Выявлено, что в ходе послерубочных, постпирогенных и постагрогенных сукцессий происходит возрастание содержания углерода в составе фракций свободного органического вещества. Содержание органического вещества в окклюдированных фракциях в ходе полнопрофильных сукцессий сначала уменьшается, а потом возрастает. Вероятно, это связано как с процессами трансформации ОВ, сосредоточенного в рассматриваемых фракциях, так и с обогащением свободного ОВ «молодыми» источниками поступления органических соединений.

Таблица 7.4. Некоторые изменения состояния системы почвенного органического вещества в ходе различных сукцессий.

Параметр	При воздействии по сравнению с почвами условно-фоновых ландшафтов / в ходе сукцессий					
	Послеру-бочные		Пост-пирогенные		Пост-агрогенные	
	а	б	а	б	а	б
Запасы углерода и азота в профиле почвы (1 м), кг $м^{-2}$	- /↑↓	↓/↑	↓/↑	↓/↑	-/↑	↓/↑
Доля запасов углерода и азота органогенных горизонтов в общих запасах	- /↑	↓↓/↑	↓/↑	↓↓/↑	↓/↑	↓↓/↑
Насыщенность азотом ОВ органогенных горизонтов (по отношению C:N)	- /↑	↓/↑	-/↑	↓/↑	-/↑	↓/↑
$C_{щ.}$ ОВ верхнего минерального горизонта, %	-/↑	↓/↑	↓/↑	↓/↑	↓/↑	↓/↑
Степень гидрофильности щелочерастворимого ОВ верхнего минерального горизонта	-/↑	-/↓	↑/↓	↑/↓	↑/↓	↑/↓
С вос, %	-/-	↓/↑↑	↓/↑	↓↓/↑↑	↓/↑	↓↓/↑↑
$C_{орг.}$ свободного ОВ, %	-/-	↑/↑↑	↑/↑	↑/↑↑	↓/↑	↓/↑↑
$C_{орг.}$ окклюдированного ОВ, %	-/-	↓/-	↑/↑	↑/↑↑	↓/↑	↓/↑
Насыщенность азотом ОВ легких фракций (по отношению C:N)	-/↓	↑/↑↑	↓/↑	↓/↑	↓/↑	↓/↑
Ароматические структуры в ОВ подстилки, %	-/↑	↑/н.о.	↑/↓	н.о.	н.о.	

Обозначения:* минус – достоверных изменений нет; ↑ – показатель возрастает, ↑↑ – сильно возрастает; ↓ – показатель снижается; ↓↓ – сильно снижается; ↑↓ – показатель может снижаться либо увеличиваться в зависимости от ряда факторов; а – поверхностные сукцессии; б – полнопрофильные сукцессии; н.о. – не определяли.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Лесные почвы составляют основу почвенного покрова Российской Федерации. Проведение комплексных исследований по изучению лесных почв европейского северо-востока России, позволило выявить направления современного педогенеза в естественных и антропогенно-преобразованных почвах на примере республики Коми.

При проведении работ показано, что морфологические и физико-химические свойства почв естественных (ненарушенных) фитоценозов в значительной степени определяются принадлежностью к отдельным ландшафтам, растениям напочвенного покрова, основным эдификаторам сообществ. Органическое вещество естественных почв характеризуется близкими закономерностями распределения молекулярно-гомогенных фракций в верхних генетических горизонтах. Основную долю щелочерастворимого ОВ составляют гидрофильные фракции ГВ, отличающиеся высокой миграционной и реакционной способностью. Отличия в почвах, развитых на суглинистых и песчаных отложениях, заключаются в меньшем абсолютном содержании амфифильных фракции ГВ в песчаных минеральных горизонтах по сравнению с почвами, развивающимися на суглинистых отложениях. При близких профильных закономерностях, различия выявлены в соотношении отдельных фракций и их закреплении на минеральной матрице почв. Показано, что компоненты растительного опада, выступающие в качестве прекурсоров органического вещества почв, имеют ряд различий по содержанию гидрофильно-гидрофобных фракций.

Запасы углерода и азота, сосредоточенные в лесных почвах варьируют от 2.9 до 12.1 углерода кг $м^{-2}$, и от 0.1 до 0.7 азота кг $м^{-2}$, соответственно. При этом существенно изменяется и вклад элементов сосредоточенных в органогенных горизонтах в общие запасы, от 17 – в подзолах, до 69 % – в торфяно-подзолисто–глеевых для углерода, и от 8% до 38%, для подзолов и торфяно-подзолисто-глеевых для азота.

Современные особенности формирования почв и почвенного органического вещества определяются влиянием ряда факторов. Преобладающими факторами на территории исследований являются рубки леса, пожары, вовлечение и вывод из сельскохозяйственного использования. В представленной работе предпринята попытка систематизации закономерностей изменения свойств почв при рассматриваемых факторах.

Анализ качественного и количественного состава древесного опада показал, что рубки изменяют пулы химических элементов, поступающих на поверхность почв. В первое десятилетия послерубочных сукцессий в составе растительного опада существенную роль ведущая роль переходит к растениям напочвенного покрова. В ходе лесовосстановления на вырубках общая масса опада увеличивается и к 40-50- летнему возрасту становится близкой к условно-фоновым лесам. Увеличение вклада опада лиственных древесных пород определяет увеличение поступления на поверхность почв зольных элементов, в частности, кальция, марганца, магния и других элементов. Благодаря увеличению доли быстроразлагающегося опада листьев, наряду с залповым поступлением порубочных остатков после рубки, происходит увеличение доли органических соединений, способных к реакциям комплексообразования и возможному последующему выносу за пределы почвенного профиля.

Рубки главного пользования и сукцессионная смена растительности на вырубках оказывают существенное влияние на температурный режим подзолистых почв средней тайги и состав вод поверностных водоемов.

В ходе развития фитоценозов на вырубках наблюдается изменение активизации элементарных почвообразовательных процессов. В отдельные этапы послерубочной сукцессии происходит интенсификация торфонакопления, деградации подстилок, снижение кислотности, интенсификация процессов оглеения, сегрегации железа, обогащения верхних горизонтов лабильным органическим веществом.

Территория вырубок неоднородна по степени воздействия, наиболее нарушены почвы волоков и лесопогрузочных площадок. Верхние горизонты

рассматриваемых почв, менее кислые, более насыщены основаниями, обогащены углеродом, характеризуются большим содержанием азота. Возрастание общего содержания углерода в механически нарушенных участках происходит, как за счет прочно связанных с минеральной матрицей органических соединений, так углеродом соединений, находящихся в свободной и окклюдированной форме. Органическое вещество, входящее в состав фракций свободного и окклюдированного ОВ, характеризуется возрастанием доли лигнино- и целлюлозоподобных соединений, при уменьшении доли алифатических составляющих.

Пожары играют ведущую роль в современной трансформации лесных почв и почвенного органического вещества. Наиболее общие закономерности изменения запасов углерода при пожарах заключаются в уменьшении запасов углерода и азота сосредоточенного в подстилочных горизонтах, при некотором (в зависимости от параметров пирогенного воздействия) возрастании запасов в верхних минеральных горизонтах. В почвах вторичных постпирогенных фитоценозов с более чем полуторовековым периодом времени, прошедшим с момента пожара, пирогенные признаки так же достаточно хорошо диагностируются. Они проявляются не только в виде углистых включений в нижней части постилки и минеральных горизонтах, но так, же и в виде пирогенных морфонов. Для всех исследуемых пирогенных почв наблюдается существенное снижение отношения C:N в горизонтах, испытавших пирогенное воздействие.

Выявлено, что фракция свободного органического вещества в значительной степени обогащена пирогенными продуктами горения, и частичного окисления продуктов горения. Во фракциях свободного и окклюдированного органического вещества содержатся высокие концентрации углерода до 32.2-43.8 %. Диагностическим является отношение C:N. Установлено, что пожары приводят к возрастанию доли ароматических фрагментов, наибольшая доля ароматических структур характерна для легких фракций свободного органического вещества.

Пожары приводят к существенным изменениям содержания молекулярных фрагментов в составе органического вещества почв. Изменения зависят от интенсивности пожара, полного или частичного выгорания подстилок,

поступления дополнительного опада, а так же компонентов опада, подвергшихся неполной деструкции. Пирогенные изменения достаточно хорошо диагностируются в денсиметрических фракциях. Но при этом, рассматриваемые изменения в ходе постпирогенных сукцессий в значительной степени сглаживаются.

Почвы залежей, выведенных из использования на территории средней тайги Республики Коми, существенно отличаются от естественных ненарушенных лесных почв. Выраженность элювиального и субэлювиального горизонтов, в значительной степени, определяется глубиной вспашки, и продолжительностью сельскохозяйственного использования данных участков. Мулеобразная подстилка формировалась на пахотных участках через стадию маломощного дернового горизонта в течение 85 лет. Почвы залежей находящихся на первых этапах зарастания лесной растительностью (7-19 лет после выведения из использования) менее кислые, характеризуются более высокой степенью насыщенности основаниями и преобладанием обменных форм кальция и магния в почвенном поглощающем комплексе. Верхние минеральные горизонты уплотнены по сравнению с условно-фоновыми участками. Почвы залежей характеризуются меньшими запасами углерода, по сравнению с условно-фоновой почвой.

Обобщение результатов исследования последствий внешних факторов на почвы, позволило сформировать список преобладающих вторичных сукцессий и систематизировать их в зависимости от характера, глубины воздействия и последующего лесовосстановления. В работе представлено изменение базовых свойств почв в ходе самовосстановительных сукцессий.

Выявлено, что почвенное органическое вещество чутко реагирует на различные типы антропогенных воздействий, изменяется в процессе сукцессионной смены и отражает ее отдельные этапы. При этом особенности органического вещества почв, находящихся на отдельных этапах сукцессионного развития заключаются в изменении содержания отдельных физически и молекулярно-гомогенных фракций.

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 органогенных 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 участках 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 вырубок 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 вырубок лиственными породами способствует обогащению почвенного органического вещества азотом. Изменение растительных сообществ способствует изменению химического состава водотоков, выражающемся 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 окклюдированной форме. Фракции свободного и окклюдированного 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 минеральными 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 органогенными 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 30-40 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 расширение 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.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

æ – электропроводность
AL – содержание алифатических структур
AR – содержание ароматических структур
CPMAS – cross-polarization magic-angle spinning
Свнс – неорганический углерод (водорастворимый)
Свос углерод водорастворимых органических соединений
Свс – общий углерод (водорастворимый)
Dh – степень гидрофильности (для ЖХГВ)
fa степень ароматичности
Нг – гидролитическая кислотность
N– содержание общего азота в почвах
Nвос азот водорастворимых соединений
$ООВ_{<1.6}$ – окклюдированное органическое вещество
V – степень насыщенности основаниями
ВВ – водорастворимые вещества
ГВ – гумусовые вещества
Е. – ельник
ЕТР – европейская территория России
ЖХГВ – жидкостная хроматография гидрофобного взаимодействия
Л. – лиственничник
ООПТ – особо охраняемые природные территории
П. – пихтарник
ПАУ – полициклические ароматические углеводороды
ПБА – период биологической активности
ПОВ – почвенное органическое вещество
ПП – пробная площадь
ППК – почвенно-поглощающий комплекс
ПС – почвенные сукцессии
С– содержание общего углерода в почвах
С. – сосняк
$СОВ_{<1.6}$ – свободное органическое вещество
Сщ. – углерод щелочераствримых (0.1n NaOH) соединений
$ТФ_{>1.6}$ – тяжелая фракция с плотностью более 1,6 $гсм^{-3}$
$ТФ_{>2.2}$ – тяжелая фракция с плотностью более 2.2 $гсм^{-3}$
$ТФ_{1.6-2.2}$ – тяжелая фракция с плотностью 1.6 -2.2 $гсм^{-3}$
ЦКП – центр коллективного пользования
ЭПП – элементарный почвообразовательный процесс
ЯМР – ядерный магнитный резонанс

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1.Абакумов Е.В. Регенерационное почвообразование в посттехногенных экосистемах карьерно-отвальных комплексов северо-запада России: Автореф. дис…канд. биол. наук. СПб., 2004. 23 с.

2.Абакумов Е.В., Гагарина Э.И., Лисицина О.В. Восстановление и рекультивация земель в районе Кингисеппского месторождения фосфоритов // Почвоведение, 2005. № 6. С. 731-740.

3.Агропромышленный комплекс Республики Коми: история и современность. Стат.сб. / Комистат. Сыктывкар, 2011. 133 с.

4.Агроэкологическое состояние и перспективы использования земель России, выбывших из активного сельскохозяйственного оборота / Под редакцией акад. Г.А. Романенко. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2008. 64 с.

5.Алейников А.А., Тюрин А.В., Симакин Л.В., Ефименко А.С., Лазников А.А.. История пожаров в темнохвойных лесах Печоро-илычского заповедника со второй половины XIX века по настоящее время // Сибирский лесной журнал. 2015. № 6. С. 31-42.

6.Алекин О.А. Основы гидрохимии. Л., 1953. 297 с.

7.Александрова В.Д. Изучение смен растительного покрова // Полевая геоботаника. М.- Л.: Наука. 1964. Т.3. С. 300—447.

8.Александрова Л.Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации. Л., 1980. 287 с.

9.Алисов Б.П. Климат СССР. М.: Изд-во МГУ, 1956. 126 с.

10.Ананьева Н.Д., Сусьян Е.А., Рыжова И.М., Бочарникова Е.О., Стольникова Е.В. Углерод микробной биомассы и микробное продуцирование двуокиси углерода дерново-подзолистыми почвами постагрогенных биогеоценозов и коренных ельников южной тайги (Костромская область) // Почвоведение. 2009. № 9. С. 1108-1116.

11.Антонов Г.И., Безкоровайная И.Н., Климченко А.В., Семенякин Д.А. Ферментативная активность почв после первого приема выборочной рубки в сосняках Красноярской лесостепи // Вестник КрасГАУ. 2011. №7. С. 61-66.

12.Артемьева З.С. Органическое вещество и гранулометрическая система почвы, М.: ГЕОС, 2010. 240 с.
13.Архангельская Т.А. Температурный режим комплексного почвенного покрова. М.: ГЕОС, 2012. 282 с.
14.Архипова М.В., Исаченкова Л.Б. Динамика почвенно-растительного покрова экосистемы сосново-еловых лесов (на примере юго-западного Подмосковья) // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2013. № 6. С. 491-501.
15.Арчегова И.Б., Заболоцкая Т.Г., Кононенко А.В., Русанова Г.В., Слобода А.В., Юдинцева И.И. Продуктивность и круговорот элементов в фитоценозах Севера. Л.: Наука, 1976. 130 с.
16.Арчегова И.Б., Кузнецова Е.Г. Влияние древесных растений на химический состав атмосферных осадков в процессе восстановления среднетаежных лесов // Лесоведение. 2011. № 3. С. 34-43.
17.Атлас республики Коми по климату и гидрологии. М.: Дрофа, 1997. 116 с.
18.Атлас Республики Коми. М.: Феория, 2011. 448 с.
19.Бабинцева Р.М. Динамика живого напочвенного покрова на вырубках кедровых древостоев в северной части Западного Саяна // Возобновление в лесах Сибири. Красноярск, Красноярское книжное издательство. 1965. 283 с.
20.Баранова О.Ю. Антропогенные изменения дерново-подзолистых почв и их эволюция при лесовозобновлении. Автореф. дис…. канд. биол. наук. М.: МГУ, 1987. 24 с.
21.Бахмет О.Н. Структурно-функциональная организация органопрофилей почв лесных экосистем северо-запада России. Автореф. соиск. д.б.н.. Петрозаводск, 2014. 49 с.
22.Безносиков В.А., Габов Д.Н. Загрязнение полиаренами таежных экосистем Республики Коми // Лесоведение. 2017. № 3. С. 212-220.
23.Бескоровайная И.Н., Тарасов П.А., Иванова Г.А., Богородская А.В., Краснощекова Е.Н. Азотный фонд песчаных подзолов после контролируемых выжиганий сосняков средней Сибири // Почвоведение. 2007. № 6. С. 775-783.
24.Бобкова К.С. Биологическая продуктивность хвойных лесов Европейского Северо-Востока. Л.: Наука, 1987. 156 с.

25.Бобкова К.С., Лиханова Н.В. Вынос углерода и элементов минерального питания при сплошнолесосечных рубках древостоев ельников средней тайги // Лесоведение. 2012. № 5. С. 43-56.

26.Бобкова К.С., Тужилкина В.В. Содержание углерода и калорийность органического вещества в лесных экосистемах Севера // Экология. 2001. № 1. С. 69-71.

27.Бобровский М.В. Лесные почвы Европейской России: биотические и антропогенные факторы формирования. М.: Товарищество научных изданий КМК. 2010. 359 с.

28.Богатырев Л.Г. Образование подстилок – один из важнейших процессов в лесных экосистемах // Почвоведение. 1996. № 4. С. 501-511.

29.Богатырев Л.Г. Основные концепции, законы и принципы современного почвоведения. М.:МАКС Пресс, 2015. 196с.

30.Богатырев Л.Г. Является ли подстилка самостоятельным биогеоценотическим телом природы? // Экология, 1990. №6. С.13-21.

31.Богатырев Л.Г., Демин В.В., Матышак Г.В., Сапожникова В.А. О некоторых теоретических аспектах исследования лесных подстилок // Лесоведение. 2004. № 4. С.17-29.

32.Богатырев Л.Г., Сапожникова В.А., Воедило А.А. Трансформация органического вещества в сосновых экосистемах как один из критериев оценки интенсивности круговорота // Вестн. Московского Ун-та. Сер. 17: Почвоведение, 1999. № 3. С. 13-23.

33.Богданов В.В., Прокушкин А.С., Прокушкин С.Г.. Влияние низовых пожаров на подвижность органического вещества почвы в лиственничниках криолитозоны средней Сибири // Вестник КрасГАУ. 2009. № 2. С.88-93.

34.Богородская А.В., Иванова Г.А. Микробиологический мониторинг состояния почв после пожаров в сосново-лиственничных насаждениях нижнего Приангарья // Хвойные бореальной зоны. 2011. № 1-2. С. 98-106.

35.Буренина Т.А., Шишикин А.С., Онучин А.А., Борисов А.Н. Снежный покров на вырубках разных лет в пихтово-кедровых лесах Енисейского кряжа // Лесоведение. 2013. № 6. С. 26–36.

36.Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. М: Агропромиздат, 1986. 416 с.
37.Ваксман С.А. Гумус. Происхождение, химический состав и значение его в природе. М., 1937. 471с.
38.Валендик Э.Н. Экологические аспекты лесных пожаров в Сибири // Сибирский экологический журнал. 1996. № 1. С. 1-8.
39.Варламов Г.И. Рельеф / Производительные силы Коми АССР. М.: Изд-во АН СССР, 1953. Т. I. С. 9-22.
40.Варсанофьева В.А. Геоморфология / Производительные силы Коми АССР. Т. 1. Геологическое строение и полезные ископаемые. М.: Изд-во АН СССР, 1953. С. 257–270.
41.Варфоломеев Л.А. Изменение состава гумуса в среднетаежных подзолистых почвах в связи с вырубкой леса и сельскохозяйственным освоением // Химия, генезис и картография почв. М.: Наука, 1968. С. 22-25.
42.Варфоломеев Л.А. О почвообразовании на вырубках еловых лесов в северной части среднетаежной подзоны // Почвоведение. 1964. №8. С. 15-24.
43.Васенев И.И. Почвенные сукцессии. М.: ЛКИ, 2008. 400 с.
44.Васенев И.И., Таргульян В.О. Ветровал и таежное почвообразование. Режимы, процессы, морфогенеза почвенных сукцессий. М.: Наука, 1995. 240 с.
45.Василевская В.Д., Богатырев Л.Г. Функции почв как основного звена в цикле биологического круговорота веществ и устойчивости наземных экосистем // В сборнике: Структурно-функциональная роль почвы в биосфере Москва, 1999. С. 144-156.
46.Ведрова Э.Ф., Евдокименко М.Д., Безкоровайная И.Н., Мухортова Л.В., Чередникова Ю.С. Запасы углерода в органическом веществе послепожарных сосняков Юго-Западного Прибайкалья // Лесоведение. 2012. № 1. С. 3-13.
47.Верхоланцева Л.А. Почвы концентрированных вырубок сосняков лишайниковых и пути улучшения их лесорастительных свойств // Материалы по почвам Коми АССР и сопредельных территорий. М.: Изд-во АН СССР, 1962. С. 102-131.
48.Вивчар А.В., Моисеенко К.Б., Панкратова Н.В. Оценка эмиссий оксида углерода от природных пожаров в северной Евразии в

приложении к задачам регионального атмосферного переноса и климата // Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана. 2010. Т. 46. № 3. С. 307-320.

49.Виноградова Ю.А., Лаптева Е.М., Перминова Е.М., Анисимов С.С., Новаковский А.Б. Микробные сообщества подзолистых почв на вырубках среднетаежных еловых лесов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16. № 5. С. 74-80.

50.Владыченский А.С., Телеснина В.М., Румянцева К.А., Чалая Т.А Органическое вещество и биологическая активность постагрогенных почв южной тайги (на примере Костромской области) // Почвоведение. 2013. № 5. С. 570-582.

51.Влияние антропогенных факторов на флору и растительность Севера. - Сыктывкар, 1990.- 57с. – (Тр. Коми филиала АН СССР №108)

52.Водогрецкий В.Е. Антропогенное изменение стока малых рек. Л.: Гидрометеоиздат., 1990. 175 с.

53.Воздействие пожаров на компоненты экосистемы среднетаежных сосняков Сибири // Отв. ред. М.Д. Евдокименко. Новосибирск: Наука, 2014. 232 с.

54.Восточноевропейские леса: история в голоцене и современность. М.: Наука, 2004. Кн. 1. 479 с.

55.Втюрин Г.М. Исследование структуры почвенного покрова с целью почвенно-экологического прогнозирования // Почвенные ресурсы Севера, их использование, повышение продуктивности и охрана. Сыктывкар, 1993. С. 34-43. (Тр. Коми НЦ УрО РАН; № 132).

56.Втюрин Г.М. Структура почвенного покрова Нибель-Ижемской низины. // Таежные почвы Коми АССР и их плодородие. Сыктывкар, 1985. С. 5-16. – (Тр. Коми филиала АН СССР; № 71).

57.Втюрин Г.М. Структура почвенного покрова таежной зоны Европейского северо-востока. Л.: Наука, 1991. 152 с.

58.Габов Д.Н., Безносиков В.А., Кондратенок Б.М., Яковлева Е.В. Закономерности формирования полициклических ароматических углеводородов в почвах северной и средней тайги // Почвоведение. 2008. № 11. С. 1334-1343.

59.Гавриков С.А. О связи внутригодового распределения стока воды с лесистостью бассейна реки (на примере Приморья) // Труды Дальневост. регион. науч.-исследоват. гидрометеорол. ин-та. Владивосток, 1992. № 137. С. 134-139.
60.Галенко Э.П. Фитоклимат и энергетические факторы продуктивности хвойного леса европейского севера. Л.: Наука, 1983. 129 с.
61.Галощапова Ю.Ю., Калиненко Н.А. Влияние пожара на органическое вещество темно-серых лесных почв // Омский научный вестник. 2012. №1. С. 217-220.
62.Геннадиев А.Н., Пиковский Ю.И., Флоровская В.Н., Алексеева Т.А., Козин И.С., Оглоблина А.И., Раменская М.Е., Теплицкая Т.А., Шурубор Е.И. Геохимия полициклических ароматических углеводородов в горных породах и почвах. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1996. 196 с.
63.Геннадиев А.Н., Цибарт А.С. Факторы и особенности накопления пирогенных полициклических ароматических углеводородов в почвах заповедных и антропогенно измененных территорий // Почвоведение. 2013. № 1. С. 32-40.
64.Герасимова М.И., Строганова М.Н., Можарова Н.В., Прокофьева Т.В. Антропогенные почвы: генезис, география, рекультивация. Смоленск: Ойкумена, 2003. 268 с.
65.Гонгальский К.Б., Зайцев А.С., Коробушкин Д.И., Сайфутдинов Р.А., Язрикова Т.Е., Бенедиктова А.И., Горбунова А.Ю., Горшкова И.А., Бутенко К.О., Костина Н.В., Лапыгина Е.В., Кузнецова Д.М., Рахлеева А.А., Шахаб С.В.. Разнообразие почвенной биоты на гарях южнотаежных лесов (на примере Тверской области) // Почвоведение. 2016. № 3. С. 388-397.
66.Горшков В.В. Послепожарное восстановление мохово-лишайникового яруса в сосновых лесах Кольского полуострова // Экология. 1995. № 3-4. С. 20-32.
67.Горшков В.В., Ставрова Н.И., Баккал И.Ю. Динамика восстановления лесной подстилки в бореальных сосновых лесах после пожаров // Лесоведение. 2005. № 3. С. 37-45.
68.Горячкин С.В. Почвенный покров Севера (структура, генезис, экология, эволюция). М.: ГЕОС, 2010. 414 с.

69.Государственная почвенная карта России. (М 1: 1000000). Лист Р-40 (Красновишерск). Сыктывкар: Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, 2005. 56 с.
70.Государственная почвенная карта СССР. (М 1: 1000000). Лист Р-39 (Сыктывкар). М.: Изд-во АН СССР, 1958.
71.Государственный доклад о состоянии окружающей среды в Республике Коми в 2012 г. Сыктывкар, 2013. 199 с.
72.Государственный доклад о состоянии окружающей среды в Республике Коми в 2013 г. Сыктывкар, 2014. 199 с.
73.Гречищева Н.Ю. Разработка научных основ применения гуминовых веществ для ликвидации последствий нефтезагрязнения почвенных и водных сред. Диссертация на соискание доктора химических наук. М. 2017. 326 с.
74.Гришина Л.А. Гумусообразование и гумусное состояние почв. М.: Изд-во МГУ, 1986. 243 с.
75.Дебков Н.М., Сидоренков В.М., Абсалямов Р.Р. Начальные стадии лесообразовательного процесса на вырубках южной тайги западной Сибири // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2017. № 1 (50). С. 52-60.
76.Деградация и охрана почв / Под. Ред. Г.В. Добровольского. М.: Изд-во МГУ, 2002. 654 с.
77.Дёгтева С.В. Лиственные леса подзон южной и средней тайги Республики Коми: Автореф. дис… докт. биол. наук. Сыктывкар, 2002. 40 с.
78.Дёгтева С.В. Параметры экологического пространства и флористическое разнообразие лесных формаций европейского северо-востока России // Экология, 2005. № 3. С. 180-185.
79.Дёгтева С.В., Дубровский Ю.А. Динамика растительного покрова при восстановительных сукцессиях на гарях темнохвойных лесов Печоро-Илычского заповедника // Труды Печоро-Илычского заповедника. № 16. 2010. С. 35-41.
80.Дёгтева С.В., Дубровский Ю.А. Лесная растительность бассейна р. Илыч в границах Печоро-Илычского заповедника. СПб, 2014. 291 с.

81.Дедков В.С., Павлова Т.С., Прокопович Е.В., Агафонов Л.И. Рубки леса и свойства горно-лесных буро-подзолистых почв Среднего Урала // Антропогенное воздействие на свойства почв. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1987. С. 21-35.

82.Дергачева М.И. Органическое вещество почв: статика и динамика (на примере Западной Сибири). Новосибирск: Наука, 1984. 154 с.

83.Димо В.Н. Климат почв и его составляющие на равнинной территории СССР// Климат почв: Сб. науч. тр. АН СССР. Пущино, 1985. 180 с.

84.Димо В.Н. Тепловой режим почв СССР. М.: Колос, 1972. 360 с.

85.Дмитриев А.С. Заболачивание и разболачивание концентрированных вырубок в борах-черничниках в бассейне Сысолы (Коми АССР). Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Сыктывкар, 1950. 16 с.

86.Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Функции почв в биосфере (экологическое значение почв). М.: Наука, 1990. 261 с.

87.Дымов А.А. Влияние сплошных рубок в бореальных лесах России на почвы (обзор литературы) // Почвоведение, 2017. № 7. С. 787-798. doi: 10.7868/S0032180X17070024.

88.Дымов А.А. Изменение почв в процессе естественного лесовозобновления (на примере подзолов средней тайги, сформированных на двучленных отложениях). Автореф. дис…. канд. биол. наук. Сыктывкар, 2007. 24 с.

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

90.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. 2012а. № 3. С. 7-18.

91.Дымов А.А., Габов Д.Н., Дубровский Ю.А., Жангуров Е.В., Низовцев Н.А.. Влияние пожара в северотаежном ельнике на органическое вещество почв // Лесоведение. 2015а. № 1. С. 52-62.

92.Дымов А.А., Дубровский Ю.А., Габов Д.Н. Пирогенные изменения подзолов иллювиально-железистых (средняя тайга, Республика Коми) // Почвоведение. 2014. № 2. С. 144-154.

93.Дымов А.А., Лаптева Е.М. Изменение подзолистых почв на двучленных отложениях при рубках // Лесоведение. 2006. № 3. С. 42-49.

94.Дымов А.А., Лаптева Е.М., Бондаренко Н.Н., Милановский Е.Ю., Завгородняя Ю.А. Гумусовые вещества почв сосняка бруснично-зеленомошного и производных лиственно-хвойных насаждений // Экологические функции лесных почв в естественных и нарушенных ландшафтах. Мат-лы IV Всерос. науч. конф. с междунар. участ. по лесному почвоведению. Ч.1. Апатиты, 2011. С. 72-76.

95.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.

96.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. 2012б. № 2. С. 67-72.

97.Дымов А.А., Милановский Е.Ю., Холодов В.А. Состав и гидрофобные свойства органического вещества денсиметрических фракций почв Приполярного Урала // Почвоведение. 2015б. № 11. С. 1335–1345.

98.Дымов А.А., Михайлова Е.Н. Свойства лесных и постагрогенных почв, развивающихся на песчаных и суглинистых отложениях Республики Коми // Известия Коми научного центра. 2017. № 3. С. 20-29.

99.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.

100.Дымов А.А., Старцев В.В. Изменение температурного режима подзолистых почв в процессе естественного лесовозобновления после сплошных рубок // Почвоведение. 2016. № 5. С. 599-608. DOI: 10.1134/S1064229316050021.

101.Дымов А.А., Старцев В.В., Зуева О.М. Углерод водорастворимых соединений в лесных почвах и его постпирогенная динамика (на примере Республики Коми) // Лесоведение. 2018. № 3. С. (в печати).

102.Евдокименко М.Д. Роль пирогенного фактора в продуктивности и динамике сосновых лесов Забайкалья // Сибирский экологический журнал, 2011. Т. 18. № 6. С. 823-834.

103.Евдокименко М.Д. Пирогенные нарушения гидротермического режима мерзлотных почв в светлохвойных лесах на юго-востоке Сибири // Почвоведение. 2013. № 2. С .133-143.

104.Егорова Н.В., Куликова В.К. Влияние различных способов механизированных рубок леса на плодородие почв Южной Карелии // Плодородие почв Карелии. М., 1965. С. 144-158.

105.Елькина Г.Я., Лаптева Е.М., Лиханова И.А., Холопов Ю.В. Особенности сукцессионных изменений растительности и почв на залежных землях средней тайги // Материалы XI Всероссийской научно-практической конференции-выставки инновационных экологических проектов с международным участием «Актуальные проблемы региональной экологии и биодиагностика живых систем». Киров, 2013. С. 279-282.

106.Елькина Г.Я., Лаптева Е.М., Лиханова И.А., Холопов Ю.В. Изменение гумусного состояния почв в результате постагрогенной трансформации пахотных угодий // Проблемы и перспективы инновационного развития сельскохозяйственной науки Республики Коми: материалы Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием) (26-27 июля 2017 г., Сыктывкар).- Сыктывкар: ФГБНУ НИИСХ Республики Коми, 2017. С. 41-46.

107.Ерохова А.А., Макаров М.И., Моргун Е.Г., Рыжова И.М. Изменение состава органического вещества дерново-подзолистых почв в результате естественного восстановления леса на пашне // Почвоведение. 2014. № 11. С. 1308-1314.

108.Ершов Ю.И. Теоретические проблемы лесного почвообразования. Новосибирск, 2015. 319 с.

109.Забоева И.В. Почвы и земельные ресурсы Республики Коми. Сыктывкар: Коми книжное издательство, 1975. 343 с.

110.Заварзина А.Г., Ванифатова Н.Г., Степанов А.А. Фракционирование гуминовых кислот по относительной гидрофобности, размеру и заряду методом высаливания // Почвоведение. 2008. № 12. С. 1466-1474.

111.Заварзина А.Г., Романкевич Е.А., Пересыпкин В.И., Ульянцев А.С., Беляев Н.А., Заварзин А.А. Фенолы–дереваты лигнина в лишайниках // Доклады Академии наук. 2015. Т. 465. № 4. С. 494-497.

112.Зайдельман Ф.Р. Процесс глееобразования и его роль в формировании почв. М.: Изд-во МОСК. УН-ТА, 1998. 316 с.
113.Залесов С.В. Лесная пирология. Екатеринбург, 1998. 296 с.
114.Замолодчиков Д.Г. Оценка пула углерода крупных древесных остатков в лесах России с учетом влияния пожаров и рубок // Лесоведение. 2009. № 4. С. 3-15.
115.Запрометова К.М., Деянова О.М. Микробиологическая характеристика почвы молодого леса, сформировавшегося через 25 лет после рубки древостоя // Динамика естественных и искусственных лесных биогеоценозов Подмосковья. М.: Наука, 1987. С. 79-88.
116.Засухин Д.П., Серый В.С., Вялых Н.И. К экспертно-лесоводственной оценке механических нарушений почв при лесозаготовках // Почвенные исследования на европейском севере России. Архангельск, 1996. С. 145-148.
117.Засухин Д.П., Серый В.С., Минин Н.С. Рекомендации по защите лесных почв от повреждений при проведении лесозаготовительных работ в Республике Коми. Сыктывкара, 2004. 17 с.
118.Иванов В.В. Экологические последствия механизированных лесозаготовок в южной тайге Красноярского края // Лесоведение. 2005. № 2. С. 3-8.
119.Изменение природной среды России в XX веке. М.: Молнет. 2012. 404 с.
120.Ильчуков С.В. Динамика структуры лесного покрова на сплошных вырубках. Екатеринбург, 2003. 118 с.
121.Ильчуков С.В. пространственная структура коренных и производных лесов таежных ландшафтов Республики Коми. Екатеринбург, 2012. 212 с.
122.Исаев А.С., Барталев С.А., Лупян Е.А., Лукина Н.В. Спутниковое зондирование Земли – уникальный инструмент мониторинга лесов России // Вестник Российской академии наук. 2014. Т. 84. № 12. С. 1073.
123.Исаченкова Л.Б. Изменение свойств дерново-подзолистых почв в сукцессионных рядах восстановления широколиственно-хвойных лесов (на примере юго-западного Подмосковья). Автореф. дис. канд. геогр. наук. М., 2007. 24 с.
124.Каверин Д.А., Пастухов А.В., Мажитова Г.Г. Температурный режим тундровых почв и подстилающих многолетнемерзлых пород (европейский Северо-Восток России) // Криосфера Земли. 2014. Т.XVIII. №3. С. 23-32.

125.Кадастр особо охраняемых природных территорий Республики Коми / Под ред. С.В. Дёгтевой, В.И. Пономарева. Сыктывкар, 2014. 428 с.
126.Казаков В.Г. Температурный режим целинных и освоенных почв северотаежной подзоны Коми АССР // Таежные почвы Коми АССР и их плодородие. Сыктывкар, 1985. С. 76-89.
127.Калабин Г.А., Каницкая Л.В., Кушнарев Д.Ф. Количественная спектроскопия ЯМР природного органического сырья и продуктов его переработки. М.: Химия, 2000. 408 с.
128.Канев В.В., Мокиев В.В. Агродерново-подзолистые почвы Северо-Востока Русской равнины. СПб.: Наука, 2004. 228 с.
129.Карелин Д.В., Почикалов А.В., Замолодчиков Д.Г., Гитарский М.Л. Факторы пространственно-временной изменчивости потоков CO2 из почв южнотаежного ельника на Валдае // Лесоведение. 2014. №4. С. 56-66.
130.Карманов А.П., Кочева Л.С. Целлюлоза и лигнин – свойства и применение. Сыктывкар, 2006. 248 с.
131.Карпачевский Л.О. Пестрота почвенного покрова в лесном БГЦ. М., 1977. 313 с.
132.Карпачевский Л.О. Динамика свойств почв. М.: ГЕОС, 1997. 170 с.
133.Карпачевский Л.О. Лес и лесные почвы. М. 1981. 263 с.
134.Карпачевский Л.О. Экологическое почвоведение. М.: ГЕОС, 2005. 336 с.
135.Карпенко А.Ю. Изменение плотности и корненасыщенности почв под влиянием лесозаготовительной техники в еловых лесах южной Карелии // Лесоведение. 2008. № 5. С. 66-70.
136.Катаров В.К., Сюнёв В.С., Ратькова Е.И., Герасимов Ю.Ю. Влияние форвардеров на лесные почво-грунты // Resources and Technology. 2012. Т. 9. № 2. С. 73-81.
137.Кауричев И.С., Яшин И.М. О фракционировании водорастворимых органических веществ растительных остатков методом адсорбционной хроматографии на угле // Известия ТСХА. 1973. № 1. С. 122-128.
138.Ковалев И.В. Биохимия лигнина в почвах. Автореф. диссертации на соиск. доктора сельскохозяйственных наук. М., 2016. 50 с.

139.Ковалева Н.О., Ковалев И.В. Биотрансформация лигнина в дневных и погребенных почвах горных ландшафтов // Почвоведение. 2009. № 11. С. 1362-1373.
140.Когут Б.М., Щульц Э., Титова Н.А., Холодов В.А. Органическое вещество гранулоденсиметрических фракций целинного и пахотного типичного чернозема // Агрохимия. 2010. №8. С. 3-9.
141.Кононенко А.В. Гидротермический режим таежных и тундровых почв Европейского Северо-Востока. Л.: Наука, 1986. 145 с.
142.Кононова М.М. Органическое вещество почвы. М., 1963. 200 с.
143.Коренные еловые леса Севера: биоразнообразие, структура, функции / Под ред. К.С. Бобковой, Э.П. Галенко. СПб.: Наука, 2006. 336 с.
144.Кошелева Ю.П., Трофимов С.Я. Особенности биохимического состава растительного опада разной степени разложенности (по данным термического анализа) // Известия РАН. Серия биологическая. 2008. № 1. С. 77-83.
145.Кощеев А.Л. Заболачивание вырубок и меры борьбы с ним. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 165 с.
146.Красильников П.В.. Устойчивые соединения углерода в почвах: происхождение и функции // Почвоведение. 2015. № 9. С. 1131–1144.
147.Краснощеков Ю.Н. Трансформация серогумусовых почв сосновых лесов под влиянием пожаров в Юго-Западном Прибайкалье // Лесоведение. 2011. № 2. С. 3–12.
148.Краснощеков Ю.Н., Сорокин Н.Д. Почвенно-экологические изменения на вырубках и гарях восточного Хэнтэя (МНР) // Почвоведение. 1988. № 1. С. 117-127.
149.Краснощеков Ю.Н., Чередникова Ю.С.. Постпирогенная трансформация почв кедровых лесов в южном Прибайкалье // Почвоведение. 2012. № 10. С. 1057-1067.
150.Краснощекова Е.Н., Косов И.В., Иванова Г.А. Воздействие высоких температур на микроартропод почв при пожарах в лиственничниках // Хвойные бореальной зоны. XXV, № 3–4, 2008. С. 250-256.
151.Крышень А.М. Растительные сообщества вырубок Карелии. М.: Наука, 2006. 262 с.

152.Кузнецов М.А. Влияние условий разложения и состава опада на характеристики и запас подстилки в среднетаежном чернично-сфагновом ельнике // Лесоведение. 2010. № 6. С.54-60.

153.Куликов А.И., Корсунов В.М., Дугаров В.И. Гидротермические градиенты в почвах под лесом и степью и темпы дивергенции мерзлотных почв на лесных вырубках // Почвоведение. 1995. № 6. С. 718-722.

154.Курбатский Н.П. Терминология лесной пирологии // Вопросы лесной пирологии. Красноярск: ИЛиД СО АН СССР, 1972. С. 171-231.

155.Курганова И.Н. Эмиссия и баланс диокиси углерода в наземных экосистемах России: автореферат. дис. …д-ра биол.наук. М., 2010. 50 с.

156.Курганова И.Н., Ермолаев Л. М., Лопес де Гереню В. О., Ларионова А.А., Кузяков Я., Келлер Т., Ланге Ш.. Баланс углерода в почвах залежей Подмосковья 2007 г. // Почвоведение. 2007. № 1. С. 60-68.

157.Курганова И.Н., Кудеяров В.Н. Возможен ли значительный положительный дисбаланс круговорота углерода (сток) на территории России? // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. 2015. Т. 6. № 1 (11). С. 32-35.

158.Лазарев Н.А. Восстановление лесов // Леса и лесная промышленность Коми АССР. М.Л., , 1961. С. 157-173.

159.Лаптева Е.М., Безносиков В.А., Шамрикова Е.В. Почвы и почвенные ресурсы Республики Коми: этапы исследований, итоги и перспективы // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2016 № 3(27). С. 23-34.

160.Лаптева Е.М., Втюрин Г.М., Бобкова К.С., Каверин Д.А., Дымов А.А., Симонов Г.А. Изменение почв и почвенного покрова // Сибирский лесной журнал. 2015. № 5. С. 64-76. DOI: 10.15372/SJFS20150505.

161.Ларин Б.В. Естественное и искусственное лесовозобновление на концентрированных вырубках Северо-Востока Европейской части России // Экология роста и развития сосны и ели на востоке европейской части СССР. Сыктывкар, 1979. С. 5-23. – (Тр. Коми филиала Академии наук СССР; № 44).

162.Ларин Б.В. Смена древесных пород на севере. – Сыктывкар: УрО АН СССР, 1987. – (Научн. докл Коми НЦ УрО АН. Вып. 174)

163.Ларин В.Б. Ход естественного возобновления на вырубках из под ельников // Трансформация экосистем Севера в зоне интенсивной заготовки древесины. Сыктывкар, 1997. С. 78-89.
164.Ларин В.Б., Паутов Ю.А. Формирование хвойных молодняков на вырубках северо-востока Европейской части СССР. Л.: Наука, 1989. 144 с.
165.Ларионова А.А., Золотарева Б.Н., Колягин Ю.Г., Кудеяров В.Н. Трансформация органического вещества в агросерой почве и агрочерноземе в процессе гумификации биомассы кукурузы // Почвоведение. 2013. № 8. С. 947-955.
166.Ларионова А.А., Золотарева Б.Н., Колягин Ю.Г., Квиткина А.К., Каганов В.В., Кудеяров В.Н. Состав структурных фрагментов и интенсивность минерализации органического вещества в почвах зонального ряда // Почвоведение. 2015. № 10. С. 1232-1241.
167.Леса Республики Коми / Под. ред.: Г.М. Козубова, А.И. Таскаева. М., 1999. 332 с.
168.Лесное хозяйство и лесные ресурсы Республики Коми / Под ред. Г.М. Козубова, А.И. Таскаева. М., 2000. 511 с.
169.Лесное хозяйство Республики Коми. Статистический сб. Сыктывкар: Комистат, 2012. 114 с.
170.Лодыгин Е.Д., Безносиков В.А., Василевич Р.С. Молекулярный состав гумусовых веществ тундровых почв (^{13}С-ЯМР спектроскопия) // Почвоведение. 2014. № 5. С. 546-552.
171.Листов А.А. Боры беломошники. М.: Агропромиздат, 1986. 181 с.
172.Лукина Н.В., Исаев А.С., Крышень А.М., Онучин А.А., Сирин А.А., Гагарин Ю.Н., Барталев С.А. Приоритетные направления развития лесной науки как основы устойчивого управления лесами // Лесоведение. 2015. № 4. С. 243-254.
173.Лукина Н.В., Орлова М.А., Исаева Л.Г. Плодородие лесных почв как основа взаимосвязи почва-растительность // Лесоведение. 2010. № 5. С. 45-56.
174.Лукина Н.В., Орлова М.А., Перминова И.В., Хусаинова В.С., Воробьева Д.Н., Артемкина Н.А. Метаболомика лесных экосистем: проблемы и перспективы // Лесоведение. 2016. № 6. С. 457-465.
175.Лукина Н.В., Полянская Л.М., Орлова М.А. Питательный режим почв северотаежных лесов. М.: Наука., 2008. 342 с.

176.Луценко Т.Н., Аржанова В.С., Ким Н.Ю. Трансформация растворенного органического вещества почвы на вырубках пихтово-елового леса (Приморский край) // Почвоведение. 2006. № 6. С. 674-680.
177.Львов П.Н., Ипатов Л.Ф., Плохов А.А. Лесообразовательные процессы и их регулирование на европейском Севере. М.: Лесная промышленность, 1980. – С. 112.
178.Люри Д.И., Горячкин С.В., Караваева Н.А., Денисенко Е.А., Нефедова Т.Г. Динамика сельскохозяйственных земель России в XX веке и постагрогенное восстановление растительности и почв. М., 2010. 415 с.
179.Люри Д.И., Карелин Д.В., Кудиков А.В., Горячкин С.В. Изменение почвенного дыхания в ходе постагрогенной сукциссии на песчаных почвах в южной тайге // Почвоведение. 2013. № 9. С. 1060–1072.
180.Мажитова Г.Г. Пирогенная динамика мерзлотных почв колымского нагорья // Почвоведение. 2000. № 5. С. 619-629.
181.Макеев А.О, Макеев О.В. Почвы с текстурно-дифференцированным профилем основных криогенных ареалов Севера Русской равнины. Пущино, 1989. 272 с.
182.Максимова Е.Ю., Цибарт А.С., Абакумов Е.В.. Свойства почв Тольяттинского соснового бора после катастрофических пожаров в 2010г // Почвоведение. 2014. № 9. С. 1131-1144.
183.Мартыненко В.Б., Широких П.С., Миркин Б.М., Наумова Л.Г. Синтаксономический анализ восстановительных сукцессий после вырубки светлохвойных лесов южно-уральского региона // Журнал общей биологии. 2014. Т. 75. № 6. С. 478-490.
184.Марунич С.В., Федоров С.Ф. Изменение водного режима водосборов под влиянием лесохозяйственных мероприятий // Тр. ГГИ. Л.: Гидрометеоиздат, 1986. Вып. 311. С. 93-103.
185.Маслов А.А. Дистанционный мониторинг лесов России концепция и практическая организация // Земля из космоса: наиболее эффективные решения. 2009. № 1. С. 5-9.
186.Матвеев В.А. Почвенная мезофауна сложных ельников и ее изменение при рубке леса и смене пород // Труды заповедника «Большая Кокшага». Вып. 5. Йошкар-Ола, 2011.С. 208-235.

187.Матинян Н.Н., Бахматова К.А., Алексеев С.С. Постагрогенная трансформация почв, сформированных на контрастных по гранулометрическому составу породах // Гумус и гумусообразование. СПб, 2007. С. 52-60.
188.Медведева М.В., Ананьев В.А., Яковлев А.С. Влияние лесозаготовительной техники на биологическую активность почв Карелии // Экология и промышленность России. 2015. Т. 19. № 9. С. 42-48. DOI: 10.18412/1816-0395-2015-9-42-48.
189.Мелехов И.С. Влияние пожаров на лес. М., 1948. 126 с.
190.Мелехов И.С. Изучение концентрированных рубок и возобновление леса в связи с ними в таежной зоне // Концентрированные рубки в лесах Севера. М.: АН СССР, 1954. С. 5–47.
191.Мелехов И.С. Лесоведение. М.: Лесн. пром-сть, 1980. 408 с.
192.Мелехов И.С. Рубки главного пользования. М.: Гослесбумизадт, 1962. 329 с.
193.Методические подходы к экологической оценке лесного покрова в бассейне малой реки / Под ред. Л.Б. Заугольновой, Т.Ю. Браславской. М.: КМК, 2010. 383 с.
194.Методические указания по проведению разрушения органических веществ в природных, питьевых, сточных водах и пищевых продуктах на микроволновой системе «Минотавр-2». СПб., 2005. 20 с.
195.Милановский Е.Ю. Гумусовые вещества почв как природные гидрофобно-гидрофильные соединения. М.: ГЕОС, 2009. 186 с.
196.Милановский Е.Ю., Васильева Н.А., Завгородняя Ю.А., Демин В.В. Гуминовые кислоты – «ароматическое ядро с алифатической периферией»? // Мат-лы V съезда Всероссийского общества почвоведов им. В.В.Докучаева. Ростов-на-Дону, 2008. С. 82.
197.Милановский Е.Ю., Шеин Е.В. Функциональная роль амфифильных компонентов гумусовых веществ в процессах гумусо-структурообразования и в генезисе почв // Почвоведение. 2002. № 10. С. 1201-1213.
198.Миркин Б.М., Наумова Л.Г. Современное состояние основных концепций науки о растительности. Уфа: АН РБ, Гилем, 2012. 488 с.
199.Молчанов А.А. Лес и климат. М., 1961. 278 с

200.Молчанов А.Г., Курбатова Ю.А., Ольчев А.В. Влияние сплошной вырубки леса на эмиссию CO_2 с поверхности почвы // Известия РАН. Серия биологическая. 2016. № 6. С. 1-7.

201.Моргун Е.Г., Боуттон Т. В., Джессип К. Оценка мобильности и времени обновления углерода денсиметрических фракций органического вещества в каштановых почвах по соотношению стабильных изотопов углерода // Почвоведение. 2010. № 5. С. 573–581.

202.Морозов Г.Ф. Избранные труды. Т.I-II. М., 1971.

203.Морозова Р.М. Изменение процессов почвообразования под влиянием концентрированных вырубок леса. В сб. «Возобновление леса на вырубках и выращивание сеянцев в питомниках». Петрозаводск, 1964. С. 55–73.

204.Мухин В.А., Воронин П.Ю. Микогенное разложение древесины и эмиссия углерода в лесных экосистемах // Экология. 2007. № 1. С. 24-29.

205.Мухортова Л.В., Ведрова Э.Ф. Вклад крупных древесных остатков в запасы органического вещества лесных экосистем послерубочных восстановительных сукцессий // Лесоведение. 2012. № 6. С. 52-59.

206.Наквасина Е.Н., Голубева Л.В. Трансформация постагрогенных почв на карбонатных отложениях в Архангельской области // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия: Естественные науки. 2014. № 1. С. 32-40.

207.Научно-прикладной справочник по климату СССР. Сер.3. Многолетние данные. Ч.1-6. Вып.1. Архангельская и Вологодская области, Коми АССР. В 2-х кн. Л.: Гидрометеоиздат, 1989. 484 с.

208.Никитин Е.Д. Экология почв и учение о почвенных экофункциях // Почвоведение. 2005. № 9. С. 1044-1053.

209.Ниценко А.А. Типология мелколиственных лесов европейской части СССР. Л., 1972. 139 с.

210.Новгородова Г.Г., Поздеев Е.Г. Трансформация состава гумуса в почвах производных насаждений ельника липнякового // Стационарные биогеоценологические исследования на Урале. Екатеринбург: УрО РАН, 2009. С. 97-118.

211.Обмен веществ и энергии в сосновых лесах Европейского Севера / Казимиров Н.И., Волков А.Д., Зябченко С.С., Иванчиков А.А., Морозова Р.М.. Л.: Наука, 1977. 304 с.

212.Объяснительная записка к листу Р-38 «Котлас» Государственной почвенной карты СССР м-б 1:1000000. М., 1976. 50 с.

213.Обыдёнников В.И., Тибуков А.В. Динамика растительного покрова в ельниках после сплошных рубок агрегатной техникой // Лесной вестник. Forestry Bulletin. 2009. № 1. С. 75-80.

214.Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. М.: Изд-во МГУ, 1990. 200 с.

215.Орлов Д.С. Особенности гумуса некоторых почв Западной Сибири // Почвоведение. 2003. № 6. С. 764-765.

216.Орлов Д.С., Садовникова Л.К., Суханова Н.И. Химия почв. М.: Высш. шк., 2005. 558 с.

217.Орлова М.А., Лукина Н.В., Камаев И.О., Смирнов В.Э., Кравченко Т.В. Мозаичность лесных биогеоценозов и продуктивность почв // Лесоведение. 2011. № 6. С. 39-48.

218.Орлова М.А., Лукина Н.В., Смирнов В.Э., Артемкина Н.А. Влияние ели на кислотность и содержание элементов питания в почвах северотаежных ельников кустарничково-зеленомошных//Почвоведение. 2016. № 11. С. 1355-1367.

219.Орфанитский Ю.А., Орфанитская В.Г. Почвенные условия таежных вырубок. М.: Лесн. пром-сть, 1971. 96 с.

220.Орфанитский Ю.А., Орфанитская В.Г., Куницина И.В. О почвенных условиях луговиковых вырубок. Основы типологии вырубок и ее значение в Лесном хозяйстве. Архангельск: Издательство института леса и лесохимии АН СССР, 1959. С. 24-36.

221.Осипов А.Ф. Эмиссия диоксида углерода с поверхности почвы спелого сосняка чернично-сфагнового средней тайги // Почвоведение. 2013. № 5. С. 619-626.

222.Осипов А.Ф., Бобкова К.С., Тужилкина В.В., Дымов А.А. Продуктивность спелого ельника и производных лиственно-хвойных насаждений на типичных подзолистых почвах // Матер. докл. IX Всерос. конф. «Освоение Севера и проблемы природовосстановления». Сыктывкар, 2014. С. 58-62.

223.Осипов А.Ф., Кузин С.Н. Температурный режим почвы сосняка чернично-сфагнового средней тайги // Известия высших учебных заведений «Лесной журнал». 2013. № 3. С. 26-33.
224.Панов А.В., Онучин А.А., Зражевская Г.К., Шибистова О.Б. Структура и динамика пулов органического вещества на вырубках в сосняках лишайниковых среднетаежной подзоны Приенисейской Сибири // Изв. РАН. Сер. биол. 2012. № 6. С. 658-666.
225.Паршевников А.Л. Физико-химические свойства почв некоторых типов вырубок Терского лесхоза // Леса Кольского полуострова и их возобновление. М., 1961. С. 34-38. – (Тр. института леса и лесохимии).
226.Паутов Ю.А. Техногенная структура вырубок – основа технологии лесовосстановления. Сыктывкар: Коми НЦ УрО АН СССР, 1992. 20 с. - (Научные рекомендации – лесному хозяйству; Вып. 98).
227.Паутов Ю.А., Ильчуков С.В. Пространственная структура производных насаждений на сплошных концентрированных вырубках в Республике Коми // Лесоведение. 2001. № 2. С. 27-32.
228.ПНД Ф 16.1:2:2.2:3.39-03 Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений массовой доли бенз(а)пирена в пробах почв, грунтов, твердых отходов, донных отложений методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с использованием жидкостного хроматографа "Люмахром". ООО "Люмэкс". Москва. 2007 г. 27 с.
229.Побединский А.В. Изменение лесорастительной среды под влиянием тракторной трелевки // Лесное хозяйство. 1951. №3. С. 34-39.
230.Побединский А.В. Изучение лесовосстановительных процессов. Красноярск, 1962. 53 с.
231.Побединский А.В. Сосновые леса Средней Сибири и Забайкалья. М.: Наука, 1965. 268 с.
232.Побединский А.В. Изучение лесовосстановительных процессов. М., 1966. 65 с.
233.Побединский А.В. Рубки и возобновление в таежных лесах СССР. М.: «Лесная промышленность», 1973. 300 с.
234.Полевой определитель почв России. М., 2008. 182 с.

235.Пономарев Ю.А. О лесорастительных свойствах песчаных почв гарей и вырубок Марийской АССР // Вопросы биологии, лесозащиты и лесного почвоведения. - Йошкар-Ола, 1965. С. 69-77. – (Сб. трудов поволжского лесотехнического ин-та им. М. Горького; Вып. 1; № 57).
236.Пономарева В.В. Теория подзолообразовательного процесса (биохимические аспекты). М.Л.: Наука., 1964. 380 с.
237.Пономарева В.В., Плотникова Т.А. Гумус и почвообразование. Л.: Наука, 1980. 224 с.
238.Почвы европейского северо-востока и их плодородие. Л.: Наука, 1989. 189 с.
239.Почвы зоны переброски части стока северных рек. Русанова Г.В., Кузнецова Е.Г., Соколова Т.А., Казакова В.Г., Константинова Т.П. . Л.: Наука, 1983. 168 с.
240.Приказ Федерального агентства лесного хозяйства (Рослесхоз) «Об утверждении Правил заготовки древесины» (№ 337 от 1 августа 2011 г). Москва, 2011.
241.Пристова Т.А. Биологический круговорот азота и зольных элементов в лиственно-хвойном насаждении подзоны средней тайги: Автореф. дисс. к.б.н. Сыктывкар, 2003. 20с.
242.Продуктивность и круговорот элементов в фитоценозах Севера. / Отв. ред. В.В. Пономарева. Л., 1975. 130 с.
243.Прокофьева Т.В., Герасимова М.И., Безуглова О.С., Бахматова К.А., Гольева А.А., Горбов С.Н., Жарикова Е.А., Матинян Н.Н., Наквасина Е.Н., Сивцева Н.Е. Введение почв и почвоподобных образований городских территории в классификацию почв России // Почвоведение. 2014. № 10. С. 1155-1164.
244.Прокушкин А.С., Токарева И.В., Прокушкин С.Г., Абаимов А.П., Гуггенбергер Г.. Потоки растворенного органического вещества в лиственничниках криолитозоны Средней Сибири // Экология. 2008. № 3. С. 163-172.
245.Прокушкин С.Г., Богданов В.В., Прокушкин А.С., Токарева И.В.. Послепожарное восстановление органического вещества в напочвенном покрове лиственничников криолитозоны центральной Эвенкии // Известия РАН. Серия биологическая. 2011. № 2. С. 227-234.
246.Протопопов В.В. Средообразующая роль темнохвойного леса. Новосибирск: Наука. 1975. 327 с.

247.Процессы в целинных и освоенных почвах Севера (Труды Коми научного центра УрО АН СССР, № 122). Сыктывкар, 1991. 130 с.
248.Пручкин В.Д. Лесные ресурсы и лесопользование в Республике Коми // Освоение Севера и проблемы природовосстановления: Доклады V Международной конференции. Сыктывкар, 2002. С.103-107.
249.Прыткова М.Я. Гидрологический режим и заиление малых разнотипных водоемов Северо-Запада. СПб.: Наука, 2011. 199 с.
250.Пулы и потоки углерода в наземных экосистемах России / Под ред. Г.А. Заварзина. М.: Наука, 2007. 315 с.
251.Путеводитель научной почвенной экскурсии. Лесная зона (сезонно-промерзающие почвы). Сыктывкар, 2002. 100 с.
252.Путеводитель научной почвенной экскурсии. Подзолистые суглинистые почвы разновозрастных вырубок (подзона средней тайги). Сыктывкар, 2007. 84 с.
253.Путеводитель научной почвенной экскурсии. Современные изменения лесных почв средней тайги. Сыктывкар, 2015. 36 с.
254.Путеводитель экскурсии международной научной конференции «Экологические функции лесных почв в естественных и антропогенно нарушенных ландшафтах». Петрозаводск, 2005. 80 с.
255.Пятецкий Г.Е., Морозова Р.М. Изменение физических и химических свойств лесных почв южной Карелии в связи с вырубками леса // Лесные почвы Карелии и изменение их под влиянием лесохозяйственных мероприятий. Вып. 34. Петрозаводск, 1962. С. 71-92.
256.Разнообразие почв и биоразнообразие в лесных экосистемах средней тайги. М.: Наука, 2006. 287с.
257.Разнообразие и динамика лесных экосистем России. Кн. 1. / Под ред. А.С. Исаева. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2012. 416 с.
258.Робакидзе Е.А., Торлопова Н.В., Бобкова К.С. Химический состав жидких атмосферных осадков в старовозрастных ельниках средней тайги // Геохимия. 2013. № 1. С. 72-83.
259.Родин Л.Е., Ремезов Н.П., Базилевич Н.И. Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах Л.: Наука, 1968. 145 с.

260.Рожков В.А., Карпачевский Л.О. Лесной покров России и охрана почв // Почвоведение, 2006. № 10. С. 1157-1164.

261.Росновский И.Н. Повреждение почвы при летних лесозаготовках в западной Сибири // Лесоведение. 2001. № 2. С. 22-26.

262.Рубцов М.В., Дерюгина А.А. Промерзание и оттаивание почвы в лесу и на сельскохозяйственных угодьях в таежной зоне европейской территории страны // Почвоведение. 1989. №2. С. 45-51.

263.Руднева Е.Н., Забоева И.В., Урусевская И.С. Почвенно-географическое районирование центральной и восточной частей европейской территории СССР // Подзолистые почвы центральной и восточной частей европейской территории СССР. Л.: Наука, 1981. 200 с.

264.Рунова Е.М., Савченкова В.А. Исследование влияния живого напочвенного покрова на характер возобновления вырубок в Среднем Приангарье // Успехи современного естествознания. 2008. № 5. С. 65-67

265.Рыжова И.М., Ерохова А.А., Подвезенная М.А. Изменение запасов углерода в постагрогенных экосистемах в результате естественного восстановления лесов в Костромской области // Лесоведение. 2015. № 4. С. 307-317.

266.Сайфуллина Н.М., Ямалов С.М., Шайхисламова Э.Ф., Миркин Б.М. Статистический анализ восстановительных сукцессий зарастания заброшенных населенных пунктов в горно-лесной зоне республики Башкортостан // Экология. 2008. №5. С. 385-389.

267.Сапожников А.П. Роль огня в формировании лесных почв // Экология. 1976. № 1. С. 42-46.

268.Сапожников А.П., Карпачевский Л.О., Ильина Л.С.. Послепожарное почвообразование в кедрово-широколиственных лесах // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2001. № 1. С. 132–164.

269.Сапожникова В.А. Особенности трансформации органического вещества в почвах сосновых БГЦ при различных экологических условиях: Автореф. дис…канд. биол. наук. М.: 2000. 22 с.

270.Сельское хозяйство в Республике Коми. Коллектив авторов: В.А. Иванов, В.В. Терентьев, И.С. Мальцева. Сыктывкар, 2009. 194 с.

271.Семенов В.М., Когут Б.М. Почвенное органическое вещество. М.: ГЕОС, 2015. 233 с.
272.Смагин А.В., Садовникова Н.Б., Смагина М.В., Глаголев М.В., Шевченко Е.М., Хайдапова Д.Д., Губер А.К. Моделирование динамики органического вещества почв. М.: Изд-во МГУ, 2001. 120 с.
273.Смирнова О.В., Турубанова С.А., Бобровский М.В., Коротков В.Н., Ханина Л.Г. Реконструкция истории лесного пояса восточной Европы и проблема поддержания биологического разнообразия // Успехи современной биологии. 2001. Т. 121. № 2. С. 144-159.
274.Соколов А.И. Лесовосстановление на вырубках северо-запада России. Петрозаводск, 2006. 215с.
275.Сорокин Н.Д. Микробиологическая диагностика лесо-растительного состояния почв Средней Сибири / Н.Д. Сорокин; отв. ред. С.Г. Прокушкин; Рос. акад. наук, Ин-т леса им. В.Н.Сукачева СО РАН. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. 222с.
276.Сорокин Н.Д., Афанасова Е.Н.. Микробиологическая диагностика состояния почв и филосферы лесных экосистем Сибири // Изв. РАН. Сер. биологическая. 2012. № 1. С. 100–108.
277.Сорокин Н.Д., Евграфова С.Ю., Гродницкая И.Д. Влияние низовых пожаров на биологическую активность криогенных почв Сибири // Почвоведение. 2000. № 3. С. 315-319.
278.Сплошные механизированные рубки в еловых лесах. Описание демонстрационного маршрута фонда Серебряная тайга. Сыктывкар, 2013. 24 с.
279.Структурно-функциональная роль почв и почвенной биоты в биосфере. Москва, 2003. 364 с.
280.Судаков Н.М. Посев и посадка леса на нераскорчеванных вырубках. Сыктывкар, 1969. 85 с.
281.Сукачёв В. Н. Избранные труды в трех томах / под ред. Е. М. Лавренко. Л.: Наука. Т. 1: Основы лесной типологии и биогеоценологии. 1972. 419 с.
282.Сукачёв В.Н., Зонн С.В. Методические указания к изучению типов леса. М., 1961. 144 с.
283.Сухарева В.Н. О некоторых изменениях в свойствах почвы после вырубки леса // Бюллетень научно-технической информации ВНИИиМЛХ. 1957. № 4. С. 27-32.

284.Сушков С.Ф. Динамика почвенно-растительного покрова на залежных землях (на примере юго-западных районов Ленинградской области): Автореф. дис. ... канд. геогр. н. Л., 1974. 25 с.
285.Сюнёв В.С., Катаров В.К.. Воздействие процессов лесозаготовок на лесную среду // Труды лесоинженерного факультета ПетрГУ. 2008. С. 120-121
286.Таежные почвы Коми АССР и их плодородие. Труды Коми филиала АН СССР № 71. Сыктывкар, 1985. 125 с.
287.Тарасов П.А., Иванов В.А., Иванова Г.А., Краснощекова Е.Н. Постпирогенные изменения гидротермических параметров почв среднетаежных сосняков // Почвоведение. 2011. № 7. С. 795-803.
288.Телеснина В.М. Постагрогенная динамика растительности и свойств почвы в ходе демутационной сукцессии в южной тайге // Лесоведение. 2015. № 4. С. 293-306.
289.Телеснина В.М., Шахин Д.А. Влияние послерубочных лесовосстановительных сукцессий на лесные почвы (на примере песчаных подзолов средней тайги западной Сибири) // Вестник Московского университета. Сер. 17. Почвоведение. 1999. № 2 .С. 37-44.
290.Теория и практика химического анализа почв / Под ред. Л.А. Воробьевой. М., 2006. 400 с.
291.Ткаченко М.Е. Общее лесоводство. М.-Л., 1952. 600 с.
292.Токарева И.В., Прокушкин А.С.. Содержание органического вещества и его водорастворимой фракции в мохово-лишайниковых ассоциациях криолитозоны // Вестник Московского Государственного Университета леса – лесной вестник. 2012 № 1. С. 156-159
293.Торлопова Н.В., Ильчуков С.В. Сосновые леса европейского Северо-Востока: структура, состояние, флористический комплекс. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 191 с.
294.Тощева Г.П. Изменение почвенного покрова на вырубках ельников южной тайги. Автореф. дис… канд. биол. наук. М., 1988. 24 с.
295.Трансформация экосистем севера в зоне интенсивной заготовки древесины / Под ред. А.И. Таскаева, Ю.В. Лешко, В.Б. Ларина, И.В. Рапоты. Сыктывкар, 1997. 160 с. (Тр. Коми научного центра УрО РАН № 154).

296.Трефилова О.В., Ефимов Д.Ю. Изменение растительного покрова и почв при естественном зарастании вырубок пихтарников енисейского кряжа // Почвоведение. 2015. № 8. С. 910-920. DOI: 10.7868/S0032180X15080092.

297.Трофимов И.Т., Бахарева И.Ю. Особенности послепирогенной трансформации дерново-подзолистых почв юго-западной части ленточных боров Алтайского края// Вестник алтайского государственного аграрного университета. 2007. № 11. С. 31-35.

298.Тюрин Е.Г. Воспроизводство хвойных лесов на европейском Севере // Основные направления совершенствования выращивания хвойных лесов. Пермь, 1982. С. 38-41.

299.Тюрин И.В. Органическое вещество почвы. М.-Л., 1937. 285 с.

300.Углерод в лесном фонде и сельскохозяйственных угодьях России / Д. Г. Замолодчиков, Г. Н. Коровин, А. И. Уткин и др.. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2005. 212 с.

301.Уланова Н.Г., Белова И.Н., Логофет Д.О. О конкуренции среди популяций с дискретной структурой: матричная модель динамики популяций вейника и березы, растущих совместно // Журнал общей биологии. 2008. Т. 69. № 6. С. 441-457.

302.Уткин А.И. Площадь поверхности лесных растений: сущность, параметры, использование. М.: Наука, 2008. 292с.

303.Федорец Н.Г. Почвенные условия вырубок последнего десятилетия // Вопросы лесовосстановления и лесозащиты в Карелии. Петрозаводск, 1983. С. 4-13.

304.Федорец Н.Г., Бахмет О.Н. Экологические особенности трансформации соединений углерода и азота в лесных почвах. Петрозаводск: Изд-во Кар. НЦ, 2003. 240с.

305.Федоров А.Н., Ивахана Г., Константинов П.Я., Мачимура Т., Аргунов Р.Н., Ефремов П.В., Лопез Л.М., Такакай Ф., Петров М.И. Изменчивость мерзлотно-ландшафтных условий после сплошной вырубки в центральной Якутии // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2013. № 8-1. С. 89-91.

306.Федорова Т.Е., Кушнарев Д.Ф., Вашукевич Н.В., Пройдаков А.Г., Бямбагар Б., Калабин Г.А. 13С-ЯМР спектроскопия гуминовых кислот различного происхождения // Почвоведение. 2003. № 10. С. 1213-1217.

307.Федотов Г.Н., Шоба С.А. О природе гумусовых веществ // Почвоведение. 2015. № 12. С. 1424-1432.

308.Фирсова В.П. Лесные почвы Свердловской Области и их изменения под влиянием лесохозяйственных мероприятий. Свердловск, 1969. 150 с

309.Фирсова В.П., Дедков В.С., Павлова Т.С. Морфологическая и химическая характеристика почв вырубок горных еловых лесов Урала // Деградация и восстановление лесных почв. М.: Наука, 1991. С. 146-156.

310.Фокин А.Д., Журавлева О.С. Сезонные особенности превращения и транспорта урацила, глицина и глюкозы в почвах подзолистого типа // Почвоведение. 2009. № 4. С. 412-418.

311.Фролова Л.Н. Особенности почвообразования в еловых лесах в связи со сменой пород в условиях Коми АССР. Автореф. дис…канд. с.-х наук. М., 1965. 18 с.

312.Фролова Л.Н., Козобродов А.С. Характеристика состава гумуса подзолов соснового молодняка черничного в средней подзоне тайги // Лесной журнал. 1965. № 1. С. 32-36.

313.Фуряев В.В. Роль пожаров в процессе лесообразования. Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 1996. 253 с.

314.Хитров Н.Б., Чевердин Ю.И, Поротиков И.Ф. Солонцовый процесс в постагрогенных и постмелиоративных условиях Каменной степи // Почвоведение. 2009. № 11. С. 1383-1392.

315.Холопова Л. Б. Солнцева О.Б. Растительный и почвенный покров через 25 лет после сплошной рубки древостоя // Динамика естественных и исскуственных лесных биогеценозов Подмосковья. М.: Наука, 1987. С. 52-62.

316.Цветков В.Ф. Потенциал лесовозобновления на вырубках Европейского Севера России // Лесоведение. 2010. № 3. С. 3-14.

317.Цветков П.А. Лесовозобновительная роль пожаров в северотаежных лиственничниках Средней Сибири // Сибирский экологический журнал. 1996. № 1. С. 61-66.

318.Целищева Л.К. Строганова М.Н., Тощеева Г.П. Диагностика процессов восстановления почв после вырубки леса // Деградация и восстановление лесных почв. М.: Наука, 1991. С. 125-131.

319.Ценотическая и флористическая структура лиственных лесов европейского Севера / Под ред. С.В. Дёгтевой. СПб.: Наука, 2001. 269 с
320.Цыбарт А.С., Геннадиев А.Н. Влияние пожаров на свойства лесных почв Приамурья (Норский заповедник) // Почвоведение. 2008. № 7. С. 783-792.
321.Цибарт А.С., Геннадиев А.Н. Ассоциации полициклических ароматических углеводородов в пройденных пожарами почвах // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2011. № 3. С. 13-19
322.Чевычелов А.П. Пирогенез и постпирогенные трансформации свойств и состава мерзлотных почв // Сибирский экологический журнал. 2002. Т. 9. № 3. С. 273-278.
323.Чертов О.Г., Комаров А.С., Грязькин А.В., Смирнов А.П., Бхатти Д.С. Имитационное моделирование влияния лесных пожаров на пулы углерода в хвойных лесах европейской России и центральной Канады // Лесоведение. 2012. № 2. С. 3-10.
324.Чертовской В.Г. Долгомошные вырубки, их образование и облесение. М., 1963. 135 с.
325.Чертовской В.Г. Еловые леса европейской части СССР. М., 1978. 176 с.
326.Чертовской В.Г. Заболачивание вырубок и возобновление леса в ельниках-черничниках: Автореф. дис… канд. с-х. наук. Архангельск, 1962. 22 с.
327.Чертовской В.Г. Образование долгомошных вырубок на месте влажных ельников // Основы типологии и ее значение в лесном хозяйстве. Архангельск, 1959. С. 45-53. (Тр. Института леса и лесохимии).
328.Шаймухаметов М.Ш., Титова Н.А., Травникова Л.С., Лебенец Е.М. Применение физических методов фракционирования для характеристики органического вещества почв // Почвоведение. 1984. № 8. С. 131–141.
329.Шамрикова Е.В., Пунегов В.В., Груздев И.В., Ванчикова Е.В., Ветошкина А.А. Индивидуальные органические соединения водных вытяжек из подзолистых почв Республики Коми // Почвоведение. 2012. № 10. С. 1068-1076.
330.Шапченкова О.А., Краснощеков Ю.Н., Лоскутов С.Р. Использование методов термического анализа для оценки органического вещества почв пройденных пожарами // Почвоведение. 2011. № 6. С. 738-747.

331.Швиденко А.З., Щепащенко Д.Г., Ваганов Е.А., Сухинин А.И., Максютов Ш.Ш., МкКаллум И., Лакида И.П. Влияние природных пожаров в России 1998-2010 гг на экосистемы и глобальный углеродный бюджет // Доклады Академии наук. 2011. Т. 441. № 4. С. 544.

332.Шеин Е.В. Курс физики почв. М.: МГУ, 2005. 432 с.

333.Шеин Е.В., Милановский Е.Ю. Роль и значение органического вещества в образовании и устойчивости почвенных агрегатов // Почвоведение. 2003. № 1. С. 53-61.

334.Широких П.С. Синтаксический анализ восстановительных сукцессий сплошных вырубок на месте светлохвойных гемибореальных лесов Южного Урала // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. Т. 14. № 1-5. С. 1407-1411.

335.Шумаков В.С., Кураев В.Н. Методологические рекомендации по почвенно-экологической оценке вырубок в лесной зоне. М.: ВНИИЛМ. 1985. 34 с.

336.Шумилов О.А., Боровлев А.Ю., Дымов А.А. Оценка доли механически нарушенных территорий на вырубках в средней тайге Республики Коми // Матер. XXIII Всерос. молодеж. науч. конф. «Актуальные проблемы биологии и экологии». Сыктывкар, 2016. С. 138-139.

337.Эволюция почв и почвенного покрова. Теория, разнообразие природной эволюции и антропогенных трансформаций почв. Отв. ред. В.Н. Кудеяров, И.В. Иванов. М.: ГЕОС, 2015. 925с.

338.Экосистемы широколиственных-хвойных лесов южного Подмосковья / Под ред. Н.С. Касимова. М., 2006. 180 с.

339.Элементарные почвообразовательные процессы: Опыт концептуального анализа, характеристика, систематика. М: Наука, 1992. 184 с.

340.Юдин Ю.П. Производительные силы Коми АССР. Т. III. Ч. 1. Растительный мир. 1954.375 с.

341.Яшин И.М. Об эффекте «гумусовой занавески» в глее-подзолистых почвах северной тайги Архангельской области // Сб.тр. Экология и почвы. Изб. Лекции. Пущино, ИФХ и БПП РАН, 2006. С. 327-330.

342.Яшин И.М., Раскатов В.А.. Шишов Л.Л.. Водная миграция химических элементов в почвенном покрове. М.: Изд-во МСХА, 2003. 316 с.

343.Abakumov E., Maksimova E., Tsibart A. Assessment of Postfire Soils Degradation Dynamics: Stability and Molecular Composition of Humic Acids with use of Spectroscopy Methods // Land Degrad Dev. 2017. https://doi.org/10.1002/ldr.2872.

344.Abe T., Watanabe A. X-Ray photoelectron spectroscopy of nitrogen functional groups in soil humic acids // Soil science. 2004. V. 169. № 1. P. 35-43.

345.Abulizi A., Yang Y., Mamat Z., Luo J., Abdulslam D., Xu Z., Zayiti A., Ahat A., and Halik W. Land-Use Change and its Effects in Charchan Oasis, Xinjiang, China // Land Degrad. Develop. 2017. 28. P. 106–115. DOI: 10.1002/ldr.2530.

346.Achat D.L., Fortin M., Landmann G., Ringeval B., Augusto L. Forest soil carbon is threatened by intensive biomass harvesting // Scientific reports. 5: 15991. Doi: 10/1038/srep15991.

347.Ågren A. M., Lidberg W., Strömgren M., Ogilvie J., Arp P. A. Evaluating digital terrain indices for soil wetness mapping – A Swedish case study // Hydrol. Earth Syst. Sci., 18, 2014. P. 3623–3634.

348.Alexis M.A., Rumpel C., Knicker H., Leifeld J., Rasse D., Pechot N., Bardoux G., Mariotti A. Thermal alteration of organic matter during a shrubland fire: A field study // Organic Gechemistry. 2010. V. 41. P. 690-697.

349.Atanassova I., Doerr S.. Changes in soil organic compound composition associated with heat-induced increases in soil water repellency // European Journal of Soil Science. 2011. V. 62. 516-532.

350.Bachmann J., Horton R., Van Der Ploeg R.R. & Woche S.. Modified sessile drop method for assessing initial soil-water contact angle of sandy soil // Soil Sci Soc Am J 2000. V. 64. P. 564-567

351.Bachmann J., McHale G. Superhydrophobic surface: a model approach to predict contact angle and surface energy of soil particles // Eur J Soil Sci. 2009. V. 60. P. 420-430.

352.Badia D., Marti C., Aguirre A., Aznar J.M., González-Pérez J.A., Dela Rosa J.M., Leon J., Ibarra P., Echeverria T.. Wildfire effects on nutrients and organic carbon of a Rendzic Phaeozem in NE Spain: Changes at cm-scale topsoil // Catena. 2014. V. 113. P. 267-275.

353.Baldock J.A., Preston C.M. Chemistry of carbon decomposition processes in forests as revealed by solid-state carbon-13 nuclear magnetic resonance. In: McFee W.W., Kelly

J.M. (Eds.), Carbon Forms and Functions in Forest Soils. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin, 1995. P. 89–117.

354.Baldock J.A., Oades J.M., Nelson P.N., Skene T.M, Golchin A. and Clarke P. Assessing the extent of decomposition of natural organic materials using solid-state 13C NMR spectroscopy // Aust. J. Soil Res.. 1997. V. 35. P. 1061-1083.

355.Belsky A.J. Effects of grazing, competition, disturbance and fire on species composition and diversity in grassland communities // J. Veg. Sci. 1992. V. 3. P. 187–200.

356.Bento-Goncalves A., Vieira A., Ubeda X., Martin D. Fire and soils: Key concepts and recent advances // Geoderma. 2012. V.191. P. 3-13.

357.Bergeron S.P., Bradley R.L., Munson A., Parsons W. Physico-chemical and functional characteristics of soil charcoal produced at five different temperatures // Soil Biology and Biochemistry. 2013. V. 58. P. 140-146.

358.Bodi M.B., Martin D.A., Balfour V.N., Santin C., Doerr S.H., Pereira P., Cerda A., Mataix-Solera J. Wildland fire ash-production, composition and eco-hydro-geomorphic effects // Earth-Science Reviews. 2014. V. 130. P. 103-127.

359.Bond-Lamberty B., Peckham S., Ahl D., Gower S.T. Fire as the dominant driver of central Canadian boreal forest carbon balance // Nature. 2007. V. 450. P. 89-92.

360.Brodowski S., John B., Flessa H., Amelung W. Aggregate-occluded black carbon in soil // European Journal of Soil Science. 2006. V. 57. P. 539-546.

361.Cambi M., Certini G., Neri F., Marchi E. The impact of heavy traffic on forest soils: A review // Forest Ecology and Management. 2015. V. 338. P. 124-138. DOI:10.1016/j.foreco.2014.11.022.

362.Cerli C., Celi L., Kalbitz K., Guggenberger G., Kaiser K. Separation of light and heavy organic matter fractions in soil - Testing for proper density cut-off and dispersion level // Geoderma. 2012. V. 170. P. 403–416. DOI: 10.1016/j.geoderma.2011.10.009.

363.Certini G. Effects of fire on properties of forest soils: a review // Oecologia. 2005. V. 143. P. 1–10.

364.Christ M.J., David M.B.. Temperature and moisture effects on the production of dissolved organic carbon in a spodosol // Soil Biol. and Biochem. 1996. V. 28 (9). P. 1191-1199.

365.Conard S.G., Ivanova G.A. Wildfire in Russian boreal forests-potential impacts of fire regime characteristics on emissions and global carbon balance estimates // Environ. Polut. 1997. V. 98. P. 305-313.

366.Crowther T.W. Todd-Brown K. E. O., Rowe C. W., Wieder W. R., Carey J. C., Machmuller M. B., Snoek B. L. Quantifying global soil carbon losses in response to warming // Nature. 2016. 540(7631). P. 104-108

367.Cui X., Gao F., Song J., Song Y., Sun Y., Sun J., Di X. Changes in soil total organic carbon after experimental fire in cold temperate coniferous forest: A sequenced monitoring approach // Geoderma 2014. V. 226-227. P. 260-269.

368.Dahlström A., Rydin H., Borgegård S-O. Remnant habitats for grassland species in an abandoned Swedish agricultural landscape // Applied Vegetation Science. 2010. 13. P. 305–314. doi:10.1111/j.1654-109X.2009.01068.x.

369.Davidson E.A., Janssens I.A. Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change // Nature. 2006. № 44. P. 165–173.

370.De la Rosa J.M., Gonzalez-Perez J.A., Gonzalez-Vazquez R., Knicker H., Lopez-Capel E., Manning D.A.C., Gonzalez-Vila F.J. Use of pyrolysis/GC–MS combined with thermal analysis to monitor C and N changes in soil organic matter from a Mediterranean fire affected forest // Catena. 2008. V. 74. P. 296–303.

371.Dean C. & Roxburgh S.H. Improving visualisation of mature, high-carbon sequestering forests. Forest Biometry // Modelling and Information Sciences. 2006. V. 1. P. 48-69

372.Debolini M., Schoorl J.M., Temme A., Galli M., Bonari E. Changes in agricultural land use affecting future soil redistribution patterns: a Case study in southern Tuscany (Italy) // Land Degradation and Development. 2015. V. 26. P. 574–586. DOI: 10.1002/ldr.2217.

373.Demir M., Makineci E., Comez A., Yilmaz E. Impacts of repeated timber skidding on the chemical properties of topsoil, herbaceous cover and forest floor in an eastern beech (Fagus orientalis Lipsky) stand // Journal of Environmental Biology. 2010. V. 31. P. 477–482

374.Denis E.H., Toney J.L., Tarozo R., Anderson R.S., Roach L.D., Huang Y. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in lake sediments record historic fire events: Validation using HPLC-fluorescence detection // Organic Geochemistry. 2012. V.45. P. 7–17.

375.Dixon R.K., Solomon A.M., Brown S., Houghton R.A., Trexier M.C., Wisniewski J. Carbon pools and flux of global forest ecosystems // Science. 1994. V. 263(5144). P. 185-90.

376.Dlapa P., Simkovic I., Doerr S., Simkovic I., Kanka R., Mataix-Solera J. Application of Thermal Analysis to Elucidate Water-Repellency Changes in Heated Soils // Soil Science Society of America Journal. 2008. V. 72. P. 1-10.

377.Doerr S.H., Shakesby R.A., Walsh R.P.D. Soil water repellency: its causes, characteristics and hydro-geomorphological significance // Earth-Sci Rev. 2000. № 51. P. 33-65

378.Dupré C., Diekmann M. Differences in species richness and life-history traits between grazed and abandoned grasslands in southern Sweden // Ecography. 2001. V. 24. P. 275–286. doi:10.1111/j.1600-0587.2001.tb00200.x.

379.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

380.Dymov A.A., Gabov D.N. Pyrogenic alterations of Podzols at the North-East European part of Russia: morphology, carbon pools, PAH content // Geoderma. 2015. V. 241-242: P. 230-237. http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.11.021.

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

382.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. V. 131. P. 140-148. DOI:10.1016/j.catena.2015.03.020.

383.Egli M., Mastrolonardo G., Seiler R., Raimondi S., Favilli F., Crimi V., Krebs R., Cherubini P., Certini G. Charcoal and stable soil organic matter as indicators of fire frequency, climate and past vegetation in volcanic soils of Mt. Etna, Sicily // Catena. 2012. V. 88. P. 14-26.

384.Eliasson L. Effects of forwarder type pressure on rut formation and soil compaction // Silva Fennica. 2005. № 39(4). P. 549-557.

385.England J.R., Paul K.I., Cunningham S.C., Madhavan D.B., Baker T.G., Read Z., Wilson B.R., Cavagnaro T.R., Lewis T., Perring M.P., Herrmann T., Polglase P.J.

Previous land use and climate influence differences in soil organic carbon following reforestation of agricultural land with mixed-species plantings // Agriculture, Ecosystems & Environment. 2016. V. 227. P. 61–72. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2016.04.026.

386.Erb K.-H., Fetzel T., Plutzar C., Kastner T., Lauk C., Mayer A., Niedertscheider M., Körner C., Haberl H. Biomass turnover time in terrestrial ecosystems halved by land use // Nature Geoscience. 2016. doi:10.1038/ngeo2782.

387.Evans C.D., Monteith D.T., Cooper D.M. Long-term increases in surface water dissolved organic carbon: observations, possible causes and environmental impacts // Environ Pollution. 2005. V. 137(1). P. 55-71.

388.Falsone G., Celi L., Caimi A., Simonov G., Bonifacio E. The effect of clear cutting on podzolisation and soil carbon dynamics in boreal forest (middle taiga zone, Russia) // Geoderma. 2012. V. 177-178. P. 27-38.

389.Finer L., Mannerkoski H., Piirainen S., Starr M. Carbon and nitrogen pools in old-growth, Norway spruce mixed forest in eastern Finland and changes associated with clear-cutting // Forest Ecology and Management. 2002. № 5880. P. 1-14.

390.Froehlich H.A., Miles D.W.R., Robbins R.W. Soil bulk density recovery on compacted skid trails in Central Idaho // Soil Sci. Soc. Am. J., 1985. V. 49. P. 1015–1017

391.Fujitake N., Kawahigashi M. ^{13}C-NMR spectra and elemental composition of fractions with different particle sizes from an Andosol humic acid // Soil Science and Plant Nutrition. 1999. V. 45(2):359-366

392.Futter M.N., Ring E., Hogbom L., Entenmann S., Bishop K.H. Consequences of nitrate leaching following stem-only harvesting of Swedish forests are dependent on spatial scale // Environmental Pollution. 2010. V. 158. P. 3552-3559. DOI: 10.1016/j.envpol.2010.08.016.

393.Gerasimov Y., Katarov V. Effect of Bogie Track and Slash Reinforcement on Sinkage and Soil Compaction in Soft Terrains // Croatian Journal of Forest Engineering. 2010. V. 31(1). P. 35-45.

394.Glaser B., Balashov E., Haumaier L., Guggenberger G., Zech W. Black carbon in density fractions of anthropogenic soils of the Brazilian Amazon region // Organic Geochemistry 2000. V. 31. P. 669-678.

395.Glaser B., Turrion M.B., Alef K. Amino sugars and muramic acid - Biomarkers for soil microbial community structure analysis // Soil Biology and Biochemistry 2004. V. 36(3). P. 399-407.

396.Gomez A., Powers R.F., Singer M.J., Horwath W.R. Soil compaction effects on growth of young ponderosa pine following litter removal in California's Sierra Nevada // Soil Sci. Soc. Am. J., 2002. V. 66. P. 1334–1343.

397.Goncalves C.N., Dalmolin S.D., Dick D.P., Knicker H., Klamt E.,Kogel-Knabner I. The effect of 10 % HF treatment on resolution of CPMAS ^{13}C NMR spectra and on the quality of organic matter in Ferralsols // Geoderma. 2003. V. 116. P. 373-392.

398.González-Pérez J.A., González-Vila F.J., Almendros G., Knicker H.. The effect of fire on soil organic matter – a review // Environment International. 2004. V. 30. P. 855-870.

399.Goutal N., Renault P., Ranger J. Forwarder traffic impacted over at least four year a soil air composition of two forest soils in northeast France // Geoderma. 2013. V. 193-194. P. 29-40. DOI:10.1016/j.geoderma.2012.10.012.

400.Griffiths R.P. and Swanson A.K. Forest Soil Characteristics in a Chronosequence of Harvested Douglas-Fir forests // Canadian Journal of Forest Research. 2001. V. 31. P.1871-1879. http://dx.doi.org/10.1139/cjfr-31-11-1871

401.Grime J.P. Plant strategies and vegetation processes. J. Wiley and Sons. 1979. 258 p.

402.Grunewald G., Kaiser K., Jahn R., Guggenberger G. Organic matter stabilization in young calcareous soils as revealed by density fractionation and analysis of lignin-derived constituents // Organic Geochemistry 2006. V. 37. P. 1573–1589. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.orggeochem.2006.05.002.

403.Guggenberger G., Zech W., Schulten H.R., Formation and mobilization pathways of dissolved organic matter: evidence from chemical structural studies of organic matter fractions in acid forest floor solutions // Organic Geochemistry. 1994. V.21(1). P. 51-66.

404.Gundersen P., Berg B., Currie W. S., Dise N.B., Emmett B.A., Gauci V., Holmberg M., Kjnaas O.J., Mol-Dijkstra J., van der Salm C., Schmidt I.K., Tietema A., Wessel W.W., Vestgarden L.S., Akselsson C., De Vries W., Forsius M., Kros H., Matzner E., Moldan F., Nadelhoffer K. J., Nilsson L.-O., Reinds G.J., Rosengren U., Stuanes A.O. and Wright, R.F. Carbon-Nitrogen Interactions in Forest Ecosystems – Final Report.

Forest & Landscape Working Papers no. 17. 2006, Danish Centre for Forest, Landscape and Planning, KVL, 62 pp.

405.Guo L.B., Gifford R.M. Soil carbon stock and land use change: a Meta analysis // Global Change Biology. 2002. 8. P. 345–360. DOI: 10.1046/j.1354-1013.2002.00486.x

406.Hatcher P.G., Schnitzler M., Dennis L.W., Maciel G.E. Aromaticity of humic substances in soils // Soil Sci. Soc. Am. J.. 1981. 45. pp. 1089-1094

407.He Y., Chen C., Xu Z., Williams D., Xu J. Assessing management impacts on soil organic matter quality in subtropical Australian forests using physical and chemical fractionation as well as ^{13}C NMR spectroscopy // Soil Biology & Biochemistry. 2009. V. 41. P. 640–650

408.He Y., Xu Z., Chen C., Burton J., MaQ , Ge Y , Xu J. Using light fraction and macroaggregate associated organic matters as early indicators for management-induced changes in soil chemical and biological properties in adjacent native and plantation forests of subtropical Australia // Geoderma. 2008. V. 147. P. 116–125

409.Herrmann A.M., Ritz K., Nunan N., Clode P.L., Pett-Ridge J., Kilburn M.R., Murphy D.V., O'Donnell A.G., Stockdale E.A. Nano-scale secondary ion mass spectrometry - a new analytical tool in biogeochemistry and soil ecology: a review article // Soil Biology & Biochemistry. 2007. V. 39. P. 1835–1850.

410.Hiederer R. and Köchy M. Global Soil Organic Carbon Estimates and the Harmonized World Soil Database. Publications Office of the European Union. 2011. 79p.

411.Hilli S., Stark S., Derome J. Litter decomposition rates in relation to litter stock in boreal coniferous forest along climatic and soil fertility gradients // Applied Soil Ecology. 2010. V. 46. P. 200-208.

412.Hutta M., Gora R., Halko R., Chalanyova M. Some theoretical aspects in the separation of humic substances by combined liquid chromatography methods // Journal of Chromatography A. 2011. № 1218. P. 8946-8957.

413.Ilvesniemi H., Forsius M., Finer L., Holmberg M., Kareinen T., Lepisto A., Piirainen S., Pumpanen J., Rankinen K., Starr M., Tamminen P., Ukonmaanaho L., Vanhala P. Carbon and nitrogen storages and fluxes in Finnish forest ecosystems. In: Koyhko, J., Talve, L. (Eds.), Understanding the Global System – The Finnish Perspective. Finnish Global Change Research Programme FIGARE, 2002. P. 69–82.

414.Isaev A., Korovin G., Zamolodchikov D., Utkin A., Pryaznikov A. Carbon stock and deposition in phytomass of the Russian forests // Water, Air, & Soil Pollution. 1995. V. 82. C. 247.

415.IUSS Working Group WRB. 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome.

416.Jandl R., Lindner M., Vesterdal L., Bauwens B., Baritz R., Hagedorn F., Johnson D.W., Minkkinen K., Byrne K.A. How strongly can forest management influence soil carbon sequestration? // Geoderma. 2007. № 137. P. 253-268.

417.Jansen B., Nierop K.G.J., Hageman J. A., Cleef A.M., and Verstraten J.M. The straight-chain lipid biomarker composition of plant species responsible for the dominant biomass production along two altitudinal transects in the Ecuadorian Andes // Organic Geochemistry. 2006. V. 37. P. 1514–1536. doi:10.1016/j.orggeochem.2006.06.018.

418.Johnson C.E., Driscoll C.T., Fahey T.J., Siccama T.G., Hughes J.W. Carbon dynamics following clear-cutting of a northern hardwood forest // In book: Carbon Forms and Functions in Forest Soils. Editors: W.W. McFee, J.M. Kelly. Publisher: American Society of Agronomy, 1995. P. 463-488. DOI: 10.2136/1995.carbonforms.c21.

419.Jones A., Stolbovoy V., Tarnocai C., Broll G., Spaargaren O., Montanarella L., (Eds.). Soil Atlas of the Northern Circumpolar Region. European Commission, Publications Office of the European Union, Luxembourg. 2010. 144 p.

420.Kaiser K., Kaupenjohann M., Zech W. Sorption of dissolved organic carbon in soil: effects of soil sample storage, soil-to-solution ratio, and temperature // Geoderma. 2001. 99. P. 317-328.

421.Kalinina O., Chertov O., Nadporozhskay M., Giani L. Properties of soil organic matter of Plaggic Anthrosols from Nortwest Germany, Nortwest and North Russia // Archive of Agronomy and Soil Science. 2009. V. 55. № 5. P. 477-492.

422.Kalinina O., Giani L., Goryachkin S.V., Lyuri D.I. Post-agrogenic development of vegetation, soils, and carbon stocks under self-restoration in different climatic zones of European Russia // Catena. 2015. V. 129. P. 18-29. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2015.02.016

423.Kalinina O., Najdenko L., Giani L., Goryachkin S.V., Karavaeva N.A., Lyuri D.I. Self-restoration of post-agrogenic sandy soils in the southern taiga of Russia: soil

development, nutrient status, and carbon dynamics // Geoderma. 2009. V. 152. № 1-2. P. 35-42. DOI: 10.1016/j.geoderma.2009.05.014

424.Kauppi P.E. New, low estimate for carbon stock in global forest vegetation based on inventory data // Silva Fennica. 2003. V. 37. https://doi.org/10.14214/sf.484.

425.Kawahigashi M., Prokushkin A., Sumida H. Effect of fire on solute release from organic horizons under larch forest in Central Siberian permafrost terrain // Geoderma. 2011. V. 166. P. 171–180

426.Kholodov V.A., Milanovskiy E.Y., Konstantinov A.I., Tyugai Z.N., Yaroslavtseva N.V., Perminova I.V. Irreversible sorption of humic substances causes a decrease in wettability of clay surfaces as measured by a sessile drop contact angle method // Journal of Soils and Sediments. 2016. DOI 10.1007/s11368-016-1639-3

427.Kim K.H., Kim M.Y. The effects of Asian Dust on particulate matter fractionation in Seoul, Korea during spring 2001 // Chemosphere. 2003. 51(8):707-21

428.Klopatek J. M. Litter decomposition contrasts in second- and old-growth Douglas-fir forests of the Pacific Northwest, USA // Plant Ecology. 2008. 196(1). P. 123-133.

429.Knicker H. How does fire affect the nature and stability of soil organic nitrogen and carbon? A review // Biogeochemistry. 2007. V. 85. P. 91-118.

430.Knicker H. Pyrogenic organic matter in soil: Its origin and occurrence, its chemistry and survival in soil environments // Quaternary International. 2011. V. 243. P. 251-263.

431.Knicker H., Hilscher A., De la Rosa J.M., González-Pérez J.A., González-Vila F.J. Modification of biomarkers in pyrogenic organic matter during the initial phase of charcoal biodegradation in soils // Geoderma. 2013. V. 197-198. P. 43-50.

432.Kögel-Knabner I., Amelung W. Dynamics, Chemistry, and Preservation of Organic Matter in Soils, in Holland H.D. and Turekian K.K. (Eds.), Treatise on Geochemistry, Second Edition, V. 12, Oxford: Elsevier, 2014. pp. 157-215.

433.Korovin G.N. Analysis of the Distribution of Forest Fires in Russia, in Fire in ecosystems of boreal Eurasia // Forestry Sciences. 1996. V.48. P. 112-118.

434.Kurganova I., Lopes de Gerenyu V., Kuzyakov Y. Large-scale carbon sequestration in post-agrogenic ecosystems in Russia and Kazakhstan // Catena. 2015. V. 133. P. 461-466. http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2015.06.002

435.Kurganova I., Lopes de Gerenyu V., Kuzyakov Y., Six J. Carbon cost of collective farming collapse in Russia // Global Change Biology 2014. V. 20. P. 938-947. DOI: 10.1111/gcb.12379.

436.Kurz W.A., Dymond C.C., White T.M., Stinson G., Shaw C.H., Rampley G.J., Smyth C., Simpson B.N., Neilson E.T., Trofymow J.A., Metsaranta J., Apps M.J. CBM-CFS3: A model of carbon-dynamics in forestry and land-use change implementing IPCC standards // Ecological modeling. 2 0 0 9. V. 2 2 0. P. 480–504.

437.Lal R. Forest soils and carbon sequestration // Forest ecology and Management. 2005. № 220. P. 242-258.

438.Lehmann J., Kleber M. The contentious nature of soil organic matter // Nature. 2015. 528. P. 60–68.

439.Llorente M., Glaser B., Turrior M.B. Storage of organic carbon and Black carbon in density fractions of calcareous soils under different land uses // Geoderma. 2010. V. 159. P. 31-38.

440.Loehman R.A., Reinhardt E., Riley K.L. Wildland fire emissions, carbon, and climate: Seeing the forest and the trees-A cross-scale assessment of wildfire and carbon dynamics in fire-prone, forested ecosystems // Forest Ecology and Management. 2014. V. 317. P. 9-19.

441.Luyssaert S., Ciais P., Piao S. L., Sshulze E.-D., Jung M., Zaehle S., Schelhaas M. J., Reichstein M., Chirkina G., Papale D., Abril G., Beer C., Grace J., Loustau D., Matteucci G., Magnani F., Nabuurs G. J., Verbeeck H., Sulkava M., Van Der Werf G. R., Janssens I.A. and members of the CARBOEUROPE-IP SYNTHESIS TEAM. The European carbon balance. Part 3: forests // Global Change Biology. 2010. V. 16: 1429–1450. doi:10.1111/j.1365-2486.2009.02056.x

442.Maksimova E., Abakumov E. Micromorphological characteristics of sandy forest soils recently impacted by wildfires in Russia // Solid Earth. 2017. V. 8. P. 553–560. doi:10.5194/se-8-553-2017

443.Marhan S., Michelsen A., Mohan J., Niu S., Pendall E., Peñuelas J., Pfeifer-Meister L., Poll C., Reinsch S., Reynolds L. L., Schmidt I.K., Sistla S., Sokol N.W., Templer P.H., Treseder K.K., Welker J.M. & Bradford M.A. Quantifying global soil carbon losses in response to warming // Nature. 2016. V. 540(7631). P. 104-108.

444.Mastrolonardo G., Rumpel C., Forte C., Doerr S.H., Certini G. Abudance and composition of free and aggregate-occluded carbohydrates and lignin in two forest soils as affected by wildfires of different severity // Geoderma. 2015. V. 245-246. P. 40-51.

445.Mataix-Solera J., Arcenegui V., Zavala L.M., Pérez-Bejarano A., Jordán A., Morugán-Coronado A., Bárcenas-Moreno G., Jiménez-Pinilla P., Lozano E., Granged A.J.P., Gil-Torres J. Small variations of soil properties control fire-induced water repellency // Spanish Journal of Soil Science. 2014. V. 4. P. 51-60

446.Mataix-Solera J., Cerda A., Arcenequi V., Jordan A., Zavala L.M. Fire effects on soil aggregation: A review // Earth-Sience reviews. 2011. V. 109. P. 44-60.

447.Mataix-Solera J., Doerr S.H. Hydrophobicity and aggregate stability in calcareous topsoils from fire-affected pine forests in Southeastern Spain // Geoderma. 2004. V. 118(1). P. 77-88.

448.Mélin F., Zibordi G., Djavidnia S. Merged series of normalized water leaving radiances obtained from multiple satellite missions for the Mediterranean Sea // Advances in Space Research. 2009. V. 43. P. 423-437.

449.Mendez-Millan M., Dignac M.-F., Rumpel C., Rasse D.P., Derenne S. Molecular dynamics of shoot vs. root biomarkers in an agricultural soil estimated by natural abundance ^{13}C labeling // Soil Biology & Biochemistry 2010. V. 42. P. 169-177.

450.Michalzik B., Matzner E.. Dynamics of dissolved organic nitrogen and carbon in a Central European Norway spruce ecosystem // Europ. J. Soil Sci. 1999. V. 50(4). P. 579-590.

451.Miesel J.R., Hockaday W.C., Townsend P.A. Soil organic composition and quality across fire severity gradients in coniferous and deciduous forest of the southern boreal region // J Geophys Res Biogeosci. 2015. V. 120. P. 1124-1141.

452.Monteith D.T., Stoddard J.L., Evans C.D., de Wit H.A., Forsius M., Hogasen T. Dissolved organic carbon trends resulting from changes in atmospheric deposition chemistry // Nature. 2007. V. 450(7169). P. 537–540.

453.Mourik J.M., Wagner T.V., de Boer J.G. and Jansen B. The added value of biomarker analysis to the genesis of plaggic Anthrosols; the identification of stable fillings used for the production of plaggic manure // SOIL. 2016. 2. P. 299–310.

454.Mueller C.W., Weber P.K., Kilburn M.R., Hoeschen C., Kleber M., Pett-Ridge J. Advances in the Analysis of Biogeochemical Interfaces: NanoSIMS to Investigate Soil

Microenvironments. In Donald L. Sparks, editor: Advances in Agronomy, Vol. 121, Burlington: Academic Press, 2013, pp. 1-46.

455.Murphy J. M., Sexton D. M. H., Barnett D. N., Jones G. S., Webb M. J., Collins M. & Stainforth D.A. Quantification of modelling uncertainties in a large ensemble of climate change simulations // Nature. 2004. V. 430. P. 768-772.

456.Myers-Pigg A.N., Louchouarn P., Amon R., Prokushkin A.S., Pierce K., Rubtsov A. Labile pyrogenic dissolved organic carbon in major Siberian Arctic rivers: Implications for wildfire-stream metabolic linkages // Geophys Res Lett. 2015. V. 42. doi:10.1002/2014GL062762.

457.Nadporozhskaya M.A., Mohren G.M.J., Chertov O.G., Komarov A.S., Mikhailov A.V. Soil organic matter dynamics at primary and secondary forest succession on sandy soils in The Netherlands: an application of soil organic matter model ROMUL // Ecol. Model. 2006. V. 190. P. 399–418, http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.025.

458.Nave L.E., Vance E.D., Swanston C.W., Curtis P.S. Harvest impact on soil carbon storage in temperate forest // Forest Ecology and Management. 2010. V. 259. P. 857-866. DOI:10.1016/j.foreco.2009.12.009.

459.Novakovskiy A.B., Maslova S.P., Dalke I.V., Dubrovskiy Y.A. Patterns of Allocation CSR Plant Functional Types in Northern Europe // International Journal of Ecology. 2016. DOI:10.1155/2016/1323614.

460.Ohlson M., Dahlberg B., Økland T., Brown K.J., Halvorsen R. The charcoal carbon pool in boreal forest soils // Nature Geoscience. 2009. V. 2. P. 692-695. DOI:10.1038/ngeo617.

461.Oni S. K., T. Tiwari J. L. J. Ledesma A. M. Ågren, C. Teutschbein J. Schelker H. Laudon and Futter M.N.. Local- and landscape-scale impacts of clear-cuts and climate change on surface water dissolved organic carbon in boreal forests // J. Geophys. Res. Biogeosci.. 2015. V. 120. doi:10.1002/2015JG003190.

462.Page-Dumroese D.S., Jurgensen M.F., Tiarks A.E., Ponder F., Sanchez Jr., F.G., Fleming R.L., Kranabetter J.M., Powers R.F., Stone D.M., Elioff J.D., Scott D.A. Soil physical property changes at the North American Long-Term Soil Productivity study sites: 1 and 5 years after compaction // Can. J. For. Res. 2006. V.36. P. 551–564.

463.Palviainen M., Finer L., Laiho R., Shorohova E., Kapitsa E., Vanha-Majamaa I. Carbon and nitrogen release from decomposing Scots pine, Norway spruce and Silver

birch stumps // Forest ecology and management. 2010. V. 259. P. 390-398. DOI:10.1016/j.foreco.2009.10.034.

464.Palviainen M., Finer, L., Kurka A.-M., Mannerkoski H., Piirainen S. & Starr M. Decomposition and nutrient release from logging residues after clear-cutting of mixed boreal forest // Plant and Soil. 2004. V. 263. P. 53-67.

465.Palviainen M., Finer, L.; Mannerkoski, H.; Piirainen, S. & Starr, M. Change in the above- and below-ground biomass and nutrient pools of ground vegetation after clear-cutting of mixed boreal forest // Plant and Soil. 2005. V. 275. P. 157-167.

466.Pan Y., Birdsey R., Fang J., Houghton R., Kauppi P.E., Kurz W.A., Phillips O.L., Shvidenko A., Lewis S.L., Canadell J.G., Ciais P., Jackson R.B., Pacala S.W., McGuire A.D., Piao S., Rautiainen A., Sitch S., Hayes D. A large and persistent carbon sink in the world's forests // Science. 2011. 19. P. 988–993.

467.Parker R.T., Maguire D.A., Marshall D.D., Cochran P. Ponderosa pine growth response to soil strength in the volcanic ash soils of central Oregon // West. J. Appl. For. 2007. V. 22. P. 134–141.

468.Pennock D.J., Kessel C.V. Clearcut forest harvest impact on soil quality indicators in the mixedwood forest of Saskatchewan, Canada // Geoderma. 1997. V. 75. P. 1332.

469.Pereira P., Úbeda X., Martin D. Fire severity effects on ash chemical composition and water-extractable elements // Geoderma. 2012. V. 191. P. 105-114.

470.Perminova I.V., Dubinenkov I.V., Kononikhin A.S., Konstantinov A.I., Zherebker A.Ya., Andzhushev M.M., Lebedev V.A., Bulygina E., Holmes R.M., Kostyukevich Yu.I., Popov I.A., Nikolaev E.N. Molecular Mapping of Sorbent Selectivities with Respect to Isolation of Arctic Dissolved Organic Matter as Measured by Fourier Transform Mass Spectrometry // Environmental Science and Technology. 2014. 48(13). P. 7461-7468. DOI: 10.1021/es5015423

471.Piccolo A. The Supramolecular Structure of Humic Substances: a Novel Understanding of Humus Chemistry and Implications in Soil Science // Advances in Agronomy. 2002. V. 75. P. 57-134.

472.Piccolo A., Conte P., Cozzolino A. Effects of mineral and monocarboxylic acids on the molecular association of dissolved humic substances // European Journal of Soil Science. 1999. V. 50. P. 687-694.

473.Pierce S., Brusa G., Vagge I. Allocating CSR plant functional types: the use of leaf economics and size traits to classify woody and herbaceous vascular plants // Functional Ecology. 2013. P. 27. P. 1002–1010. DOI: 10.1111/1365-2435.12095.

474.Piirainen S, Finér L, Mannerkoski H, Starr M (2004) Effects of forest clear-cutting on the sulphur, phosphorus and base cations fluxes through podzolic soil horizons // Biogeochemistry. 2004. V. 69(3). P. 405–424.

475.Piirainen S. Nutrient fluxes though a boreal coniferous forest and the effects of clear-cutting: Academic dissertation Faculty of Forestry University of Joensuu. Joensuu research centre, 1998. 300 p.

476.Piirainen S., Finér L., Mannerkoski H., Starr M. Effects of forest clear-cutting on the carbon and nitrogen fluxes through podzolic soil horizons // Plant and Soil. 2002. № 239 (2). P. 301-311.

477.Poeplau C., Don A. Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops – A meta-analysis // Agriculture, Ecosystems & Environment 2015. V. 200. P. 33–41. http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2014.10.024.

478.Poeplau C., Don A. Sensitivity of soil organic stocks and fraction to different land use changes across Europe // Geoderma. 2013. V. 192. 189-201.

479.Ponge J.F. Humus forms in terrestrial ecosystems: framework to biodiversity // Soil biology and biochemistry. 2003. V. 35. P. 935-945. DOI:10.1016/S0038-0717(03)00149-4.

480.Qualls R.G. Biodegradability of Humic Substances and Other Fractions of Decomposing Leaf Litter // Soil Sci. Soc. Am. J., 2004. № 68. P.1705-1712.

481.Ranatynga T.D., He Z., Bhat K.N., Zhong J. Solid-state 13C nuclear magnetic resonance spectroscopic characterization of soil organic matter fractions in a forest ecosystem subjected to prescribed burning and thinning // Pedosphere. 2017. 27(5). P. 901-911.

482.Ravindra K., Becs L., Wauters E., Hoog J., Deutsch F., Roekens E., Bleux B., Berghmans P., Grieken R.V. Seasonal and site-specific variation in vapour and aerosol phase PAHs over Flanders (Belgium) and their relation with anthropogenic activities // Atmos. Environ. 2006. V. 40. P. 771-785.

483.Richter D.de B., Yaalon D.H. «The changing model of soil» Revisited // Soil Sci Soc. Am. J. 2012. V. 76. P. 766-778. DOI: 10.2136/sssaj2011.0407.

484.Santín C., Doerr S.H. Fire effects on soils: The human dimension // Philosophical Transactions of The Royal Society B Biological Sciences 371(1696), 2016. · DOI: 10.1098/rstb.2015.0171.

485.Santin C., Doerr S.H., Merino A., Bryant R., Loader N.J. Forest floor chemical transformations in a boreal forest fire and their correlations with temperature and heating duration // Geoderma. 2016. V. 264. P. 71-80

486.Santin C., Doerr S.H., Preston C., Bryant R. Consumption of residual pyrogenic carbon by wildfire // International Journal of Wildland Fire. 2013. V. 22. P. 1072-1077.

487.Santin C., Doerr S.H., Preston C.M., Gonzalez-Rodriguez G. Pyrogenic organic matter production from wildfires: a missing sink in global carbon cycle // Global Change Biology. 2015. V. 21. P. 1621–1633

488.Santin C., Knicker H., Fernandez S., Menéndez-Duarte R., Alvarez M.A. Wildfires influence on soil organic matter in an Atlantic mountainous region (NW of Spain) // Catena. 2008. V. 74. P. 286-295.

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

490.Schmidt I.K., Tietema A., Wessel W.W., Vestgarden L.S., Akselsson C., De Vries W., Forsius M., Kros H., Matzner E., Moldan F., Nadelhoffer K. J., Nilsson L.-O., Reinds G.J., Rosengren U., Stuanes A.O. and Wright R.F. Carbon-Nitrogen Interactions in Forest Ecosystems – Final Report. Forest & Landscape Working Papers no. 17-2006, Danish Centre for Forest, Landscape and Planning, KVL. 2006. 62 p.

491.Schmidt M.W.I., Rumpel C., Kögel-Knabner I. Evaluation of an ultrasonic dispersion procedure to isolate primary organomineral complexes from soils // European Journal of Soil Science, 1999. V.50. P. 87–94.

492.Schmidt, M.W.I., Torn, M.S., Abiven, S., Dittmar, T., Guggenberger, G., Janssens, I.A., Kleber, M., Kogel-Knabner, I., Lehmann, J., Manning, D.A.C., Nannipieri, P., Rasse, D.P., Weiner, S., Trumbore, S.E., Persistence of soil organic matter as an ecosystem property // Nature. 2011: 478. P. 49-56.

493.Shang J., Flury M., Harsh J.B., Zollars R.L. Comparison of different methods to measure contact angles of soil colloids // Journal of Colloid and Interface Science. 2008. V. 256. P. 299-307.

494.Shaw C., Chertov O., Komarov A., Bhatti J., Nadporozskaya M., Apps M., Bykhovets S., Mikhailov A. Application of the forest ecosystem model EFIMOD 2 to jack pine along the Boreal Forest Transect Case Study // Canadian Journal of Soil Science. 2006. V. 86. P. 171–185, http://dx.doi.org/10.4141/S05-079.

495.Shorohova E., Kapitsa E. The decomposition rate of non-stem components of coarse woody debris (CWD) in European boreal forests mainly depends on site moisture and tree species // European Journal of Forest Research. 2016. DOI: 10.1007/s10342-016-0957-8.

496.Six J., Schultz P.A., Jastrow J.D., Merck R. Recycling of sodium polytungstate used in soil organic matter studies // Soil Biology and Biochemistry. 1999. V. 31. P. 1193–1196.

497.Skjemstad J.O., Clarke P., Taylor J.A., Oades J.M., Neuman R.H. The removal of Magnetic Materials from surface soils. A solid state ^{13}C CP/MAS n.m.r. // Aust. J. Soil Res., 1994. V. 32. P. 1215-1229.

498.Smith R.S., Rushton S.P. The effects of grazing management on the vegetation of mesotrophic (meadow) grassland in northern England // Journal of Applied Ecology. 1994. V. 31. P. 13–24.

499.Smolander A., Heiskanen J. Soil N and C transformations in two forest clear-cuts during three years after mounding and inverting // Canadian Journal of Soil Science 2007. V. 87. P. 251–258.

500.Soucemarianadin L.N., Quideau S.A., MacKenzie M.D. Pyrogenic carbon stocks and storage mechanisms in podzolic soils of fire-affected Quebec black spruce forest // Geoderma. 2014. V. 217-218. P. 118-128.

501.Spielvogel S., Prietzel J., Kögel-Knabner I. Stand scale variability of topsoil organic matter composition in a high-elevation Norway spruce forest ecosystem // Geoderma. 2016. V. 267. P. 112–122

502.Standard Soil Color Charts, 1970. Japane.

503.Stark S., Hilli S., Willfor S., Smeds A.I., Reunanen M., Penttinen M. Composition of lipophilic compounds and carbohydrates in the accumulated plant liter and soil organic matter in boreal forest // European Journal of Soil Science. 2012. № 2. P. 65-74.

504.Sutton R., Sposito G. Molecular structure in soil Humic Substances: The new view // Environmental science and technology. 2005. № 23. V. 39. P. 9009-9015.

505.Suvinen A. A GIS-based simulation model for terrain tractability // Journal of Terramechanics. 2006. 43. P. 427-449.
506.Suvinen A., Tokola T., Saarilahti M. Terrain Trafficability Prediction with GIS Analysis // Forest Science. 2009. V. 55(5). P. 433-442.
507.Tarnocai C., Canadell J.G., Schuur E.A.G., Kuhry P., Mazhitova G., Zimov S. Soil organic carbon pools in the northern circumpolar permafrost region // Global Biogeochemistry Cycles 2009. V. 23. GB2023, DOI:10.1029/2008GB003327.
508.Tsibart A., Gennadiev A., Koshovskii T., Watts A. Polycyclic aromatic hydrocarbon in post-fire soils of drained peatlands in western Meshchera (Moscow region, Russia) // Solid Earth. 2014. V. 5. P. 1305-1317.
509.US EPA (United States Environmental Protection Agency). Evaluation and estimation of potential carcinogenic risks of polynuclear aromatic hydrocarbons: carcinogen assessment group. Washington DC: Office of Heath and Environmental Assessment; 1985.
510.Vergnoux A., Malleret L., Asia L., Doumenq P., Theraulaz F. Impact of forest fires on PAH level and distribution in soils // Environmental Research. 2011. V. 111, P. 193–198.
511.Vesterdal L., Scmidt I.K., Callesen I., Nilsson L.O., Gundersen P. Carbon and nitrogen in forest floor and mineral soil under six common European tree species // Forest Ecology and management. 2008. V. 255. P. 35-48. DOI:10.1016/j.foreco.2007.08.015.
512.Wang J.J., Dahlgren R.A., Ersan M.S., Karanfil T., Chow A.T.. Wildfire altering terrestrial precursors of disinfection byproducts in forest detritus // Environmental Science & Technology. 2015. V. 49. P. 5921-5929.
513.Watanabe A., Takada H., Arno S., Fandi A., Adachi T., Oki Y., Senge M. Assessment of degradation and generation of humus in a coffee soil affected by weed cover by means of a stable carbon isotopic ratio // European Journal of Soil Science. 2007. V. 58. P. 1042–1049
514.Wiesmeier M., Poeplau C., Sierra C.A., Maier H., Frühau C., Hübner R., Kühnel A., Spörlein P., Geu U., Hangen E., Schilling B., von Lützow M., Kögel-Knabner I. Projected loss of soil organic carbon in temperate agricultural soils in the 21st century:

effects of climate change and carbon input trends // Scientific Reports 2016. V. 6. P. 1-17. DOI: 10.1038/srep32525

515.Wiesmeier M., Sporlein P., Geu U., Hansen E., Haug S., Reischl A. Schilling B., von Lützow M., Kögel-Knabner I. Soil organic carbon stocks in southeast Germany (Bavaria) as affected by land use, soil type and sampling depth // Global Change Biology. 2012. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2012.02699.x

516.Wu W. Baseline studies of the clay minerals society source clays: colloid and surface phenomena // Clay Clay Miner. 2001. V. 49. P. 446-452

517.Yanai R.D., Arthur M.A., Siccama T.G. and Federer C.A.. Challenges of measuring forest floor organic matter dynamics: Repeated measures from a chronosequence // Forest Ecology and Management. 2000. V. 138. P. 273-283.

518.Yu B., Stott P., Di X.Y., Yu H.X. Assessment of land cover changes and their effect on soil organic carbon and soil total nitrogen in Daqing prefecture, China // Land Degradation and Development. 2014. V. 25. P. 520–531. DOI: 10.1002/ldr.2169

519.Yunker M.B., Macdonald R.W., Vingarzan R., Mitchell R.H., Goyette D., Sylvestre S. PAHs in the Fraser River basin: a critical appraisal of PAH ratios as indicators of PAH source and composition // Organic Geochemistry. 2002. V. 33. P. 489–515

520.Zanella A., Jabiol B., Ponge J.F., Sartori G., De Waal R., Van Delft B., Graefe U., Cools N., Katzensteiner K., Hage H., Englisch M.A European morphofunctional classification of humus forms // Geoderma. 2011.V. 164. P. 138–145.

521.Zhao Y.-G., Liu X.-F., Wang Z.-L., Zhao S.-W. Soil organic carbon fractions and sequestration across a 150-yr secondary forest chronosequence on the Loess Plateau, China // Catena 2015. V. 133. P. 303-308. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2015.05.028.

Приложения.

Приложение 1.

Приложение 1.1 Описания участков и морфологические описания почв послерубочных фитоценозов

1УК (Р-1-УК-13[1]). Условно-фоновый участок. Усть–Куломский район РК. Возвышенность Жежим Парма. Ельник черничный. Координаты: 61°45'43,6''с.ш., 54°17'50,1''в.д.. Абсолютная высота 260 м. Разрез заложен в межкроновом пространстве, на расстоянии от ствола ели около 4 м (от передней стенки), в центре разреза, на передней стенке – валежина (на пятой степени разложения), покрытая мхом. Морфологически подстилка под валежиной не отличается. В напочвенном покрове черника, зеленые мхи, орляк, хвощ лесной.

Описание почвенного профиля:

Горизонт	Глубина, см / мощность, см	Морфологическое описание
O (L)	0-3 / 3	Представляет собой очес зеленых мхов, опад хвойных и прошлогодний опад. Сухой, переход постепенный по степени разложенности растительных остатков
O (F)	3-6 / 3	Растительные остатки, не утратившие своего анатомического строения. Свежий, бурый, пронизан по всему объему белыми гифами грибов, много корней.
O (H)	6-8 / 2	Хорошо и средне разложившиеся растительные остатки. Свежий, темно-серый, много корней хвойных деревьев. В небольшом количестве присутствует мелкозем со слабовыраженной мелкокомковатой структурой. В

[1] Для большинства разрезов применен составной номер, где первая цифра (1) – номер разреза, вторая (13 или в некоторых случаях 2013) – год отбора образцов.

		нижней части много желтых гиф грибов.
ELe	8-11 / 3	Серовато-бурый (10YR 6/3-5/3), легкий суглинок, мелкопористый, свежий, рыхлый, трещиноватый, много корней, примазки, единичные пятна ожелезнения, граница ровная, переход ясный.
ELhi	11-14 / 3	Серовато-бурый (7,5YR4/6-3/4), средний суглинок, комковатая структура, пористый, свежий, рыхлый, трещины до 1 мм, корни редкие (крупные корни до 4 мм), примазки темные, мягкие, граница ровная, переход заметный.
EL	14-40 / 26	Неоднородной окраски: от темно-серого до рыжевато-бурого (10YR5/4), средний суглинок, Свежий, много примазок (~15% по площади) и конкреций, от трещиноватый, плитчатый, много мелких корней (до 3 мм), переход постепенный по плотности.
BEL	40-80 / 40	Неоднородная окраска: на желтовато-буром фоне (10YR5/4) мелкие конкреции до 1 мм, свежий, рыхлый, крупные единичные конкреции, редкие мелкие корни, кремнеземистая присыпка по граням структурных отдельностей, граница языковатая, переход ясный по окраске
BT1	80-110 / 30	Окраска неоднородная - поверхность педов более бурая (глинистые кутаны) по сравнению с внутрипедной массой (7,5YR4/4-4/6), структура призматическая, влажноватый, плотный, много мелких пор, крупные губчатые поры, примазки диаметром до 2 мм, скелетаны на поверхности педов мощностью до 1 мм, переход постепенный по влажности.
BT2	110-125 / 35	Влажноватый, окраска неоднородная, более темная поверхность педов (7,5YR4/4) по сравнению с внутрипедной массой (7,5YR5/4), на общем фоне встречаются рыжеватые пятна, связанные с аккумуляцией Fe, тяжелый суглинок, плотный, структура многопорядковая (I – призматическая, II– мелкокомковатая), мелкопористый, единичные древесные корни диаметром до 3 мм, глинистые кутаны выражены ярче, переход постепенный по структуре и сложению.

Почва: подзолистая текстурно-дифференцированная.

1УК. Р-2-УК-13. Усть–Куломский район РК. Возвышенность Жежим Парма. Ельник черничный. Координаты: 61°45'43,9''с.ш., 54°17'51,6''´в.д.. Парцелла пихты. Абсолютная высота. 260 м н.у.м. Разрез заложен между двух пихт, в 0,5 метрах от каждой. Микрорельеф выражен слабо. В напочвенном покрове преобладают: гилокомиум блестящий, хвощ лесной, черника, плевроциум Шребера.

Описание почвенного профиля:

Горизонт	Глубина, см / мощность, см	Морфологическое описание
O (L)	0-2 / 2	Представлен зелеными мхами, сухой хвоей пихты (много) и прошлогодним опадом. Сухой.
O (F+H)	2-4 / 2	Растительные остатки, не утратившие своего анатомического строения. Сухой, бурый, пронизан гифами грибов, граница ровная, переход ясный.
ELhi	4-10 / 6	Окраска неоднородная, на сером фоне (2,5Y6/10) встречаются бурые затеки, легкий суглинок, сухой, пылеватый, плитчатая структура, мелкопористый, много вертикальных и горизонтальных трещин, много корней, гиф грибов, по сравнению с Р-1-УК-13 профиль не выражен, но в элювиальном горизонте больше трещин, по которым течет и сорбируется гумус. Переход ясный.
EL1	10-20 / 10	Окраска неоднородная, на сером фоне (2,5Y7/1) встречаются более темные пятна. Легкий суглинок, свежий. Fe–Mn конкреции диаметром до 3 мм, примазки, плитчатая структура, рыхлый, до глубины 25(30) см встречаются трещины с средневыраженной пропиткой гумусом (7,5YR3/4), мощностью до 1-2 мм (отобран образец с её поверхности), в трещинах материал мелкокомковатый, много корней, граница волнистая, переход ясный по увеличению доли железистых новообразований.
EL2	20-40 / 20	Окраска неоднородная, на общем фоне (10YR6/4) встречаются темные примазки, а также кутаны по граням

		структурных отдельностей, средний суглинок, структура многопорядковая (I- плитчатая, II- комковатая), более плотный, чем вышележащий горизонт, пористый, встречаются единичные корни.
EL3	40-55 / 15	10YR 6/4, схож с предыдущим.
BEL	55-65 / 10	Окраска неоднородная, на буром фоне (7,5YR4/4) встречаются единичные темные конкреции и примазки, средний суглинок, свежий, структура плитчатая, липкий, на поверхности педов скелетаны, переход постепенный по уменьшению выраженности скелетан.
BT1	65-80 / 15	Окраска неоднородная, на буром фоне (7,5YR4/6-3/4) по поверхностям педов встречаются примазки и конкреции, свежий, структура глыбисто-плитчатая.

Почва: подзолистая текстурно-дифференцированная потечно-гумусовая.

Р-3-УК-13. Усть–Куломский район. Возвышенность Жежим Парма. Коренной ельник черничный. Абсолютная высота 260 м н.у.м. Парцелла ели, разрез заложен под кроной ели (1 м от ствола старой (260 лет) ели). Микрорельеф выражен слабо. В напочвенном покрове преобладают: гилокомиум блестящий, хвощ лесной, черника, плевроциум Шребера. На месте заложения разреза присутствовала валежина.

Описание почвенного профиля:

Гори-зонт	Глубина, см / мощность, см	Морфологическое описание

O (L)	0-2 / 2	Свежий растительный опад, представленный хвоей, шишками и остатками растений напочвенного покрова.
O (F)	2-4 / 2	Растительные остатки, не утратившие своего анатомического строения. Сухой, бурый, пронизан гифами грибов.
O(H)	4-6 / 2	Хорошо и средне разложившиеся растительные остатки. Свежий, темно-серый, много корней хвойных деревьев, местами можно отметить наличие структуры (мелкокомковатой), в нижней части много желтых гиф грибов.
EL	6-10 / 4	Окраска неоднородная, на светло-сером фоне (2,5Y7/2) в зоне стока поверхностных вод с ели встречается пропитка гумусом, за счет чего эти участки становятся более серого цвета, также, на общем фоне различимы примазки и конкреции, уплотнен по сравнению с вышележащим, встречаются единичные гифы грибов (белые), свежий легкий суглинок. Граница волнистая, переход ясный по окраске.
ELhi	10-20 / 10	Окраска неоднородная, на буром фоне более темные конкреции, Сухой легкий суглинок, бурая окраска на гранях педов схожа с окраской в трещине разреза Р-3-УК-13.
ELf	20-30 / 10	Окраска (10YR3/4), плотный, хорошо оструктурен, сухой, средний суглинок. Мелкокомковатый, грани структурных отдельностей более темные по сравнению с внутрипедной массой, рассыпчатый.
BELn	30-45 / 15	Схож с вышележащим горизонтом, окраска неоднородная, более бурый (10YR3/4), очень много конкреций (~3-4 мм диаметром) и примазок, расположенных как гнездами, так и единично, средний суглинок, очень плотный, структура плитчатая, граница ровная, переход постепенный.
BT1	45-60 / 15	Бурый (7,5 YR 4/6) средний суглинок. Хорошо оструктурен. Влажноватый. Переход постепенный, граница ровная.
BT2	60-80 / 20	Окраска неоднородная, на общем фоне (10 YR3/4) встречаются более темные пятна (7,5 YR 2/1). Тяжелый суглинок.

Почва: подзолистая текстурно-дифференцированная конкреционная.

2УК (Р-4-УК-13). Усть–Куломский район. Возвышенность Жежим Парма. Молодой лес, вырубка 2000-2001 г. Координаты: 61°59'01,5'' с.ш., 54°03'25,0'' в.д.. На участке идет активное лесовозобновление – береза, пихта, рябина. Хорошо выраженный микрорельеф – западины, моховые кочки. На свежей вырубке визуально можно отметить увеличивающуюся долю мхов (за счет кукушкина льна). Также, увеличилось содержание трав и осок. Большая часть порубочных остатков хорошо разложилась. Пни сохранились существенно лучше. Волока

заросли, значительно не отличаются от остальной территории вырубки. Разрез заложен в 20 метрах от дороги, в окне – расстояние до пня старой ели ~1,5 м, до пихт ~1,5 м (высота ~4 м), также рядом растет береза (~3 м высотой). На участке много хорошо разложившихся валежин, часть из них проходит через заложенный разрез (расположены преимущественно в подстилке). На ПП-1 было помимо заложенного разреза сделано 5 прикопок, в которых верхние минеральные горизонты практически не отличалась друг от друга. Морфологически – видны отличия с 1-УК: – присутствие оглеения в профиле (окислительно-восстановительные условия связаны с заболачиванием территории); – выраженная потечность гумуса; – верхняя элювиальная толща существенно изменена.

Описание почвенного профиля:

Горизонт	Глубина, см / мощность, см	Морфологическое описание
O (L)	0-2(5) / 2(5)	Очес кукушкина льна, зеленых мхов вместе со свежим растительным опадом (осок, листьев березы). В нижней части встречаются корни деревьев и травянистой растительности.
O (F)	2(5)-7(8) / 3(6)	Средней степени разложения растительные остатки. Сухой, бурого цвета, войлокообразный. Много неразложившихся валежин.
O (H)	7(8)-12 / 4(5)	Сухой, темно-серый, мажущийся, много углистых включений. Граница волнистая, переход ясный.

ELhi, g	12-17 5	Окраска неоднородная, на серовато-буром фоне с розоватым оттенком (2,5 YR 6/3-5/3) много темных мелких Fe-Mn примазок, конкреций, пористый, вертикальные трещины, свежий, рыхлый, легкий суглинок, структура мелкокомковатая, много крупных и мелких корней (до 1 мм диаметром), граница волнистая, переход заметный по окраске.
ELg, f	17-35 18	Окраска неоднородная, на сизо-сером фоне (2,5Y6/2) ржавые пятна (10Y 6/4), свежий легкий суглинок, влажнее предыдущего, рыхлый. Встречаются как более светлые, так и ржаво-бурые пятна, бурые Fe-Mn примазки, плитчатая структура, пористый, много конкреций (1-3 мм диаметром), по корням – бурые затеки из вышележащего горизонта, граница ровная, переход заметный по окраске.
BEL1	35-50 16	Окраска неоднородная (10YR5/4), средний суглинок, очень рыхлый, мягче вышележащего горизонта, мелкокомковатая структура, пористый, редкие крупные корни, много мелких корней (<1 мм), редкие Fe-Mn конкреции (диаметром до 2 мм), примазок нет, мелкие пятна ожелезнения, переход постепенный по окраске. Граница ровная.
BEL2	50-70 19	окраска неоднородная, на общем желтовато-буром фоне (10YR5/6), свежий, влажнее предыдущего, рыхлый, гнездами располагаются примазки, преимущественно на гранях структурных отдельностей, параллельных дневной поверхности почвы, есть пятна ожелезнения, грани педов более светлые по сравнению с внутрипедной массой, средний суглинок, пористый, структура многопорядковая, крупноплитчатая, распадающаяся на более мелкую, комковатую, единичные крупные корни, граница языковатая, переход заметный по окраске.
BT1	70-87 17	Окраска неоднородная, на буром фоне (7,5 YR 5/4-4/4) по горизонтальным поверхностям педов располагаются мелкие Fe-Mn примазки (<1 мм), свежий, влажнее предыдущего, по граням структурных отдельностей – скелетаны, внутрипедная масса более бурая, средний суглинок, структура многопорядковая, плитчатая, поры редкие (диаметром до 1 мм), редкие единичные корни (до 2 мм диаметром), переход постепенный по изменению структуры.
BT2	87-107 20	По морфологии схож с вышележащим горизонтом, но более плотный средний суглинок. Менее выражены скелетаны, плитки структурных отдельностей большего размера. Граница ровная, переход заметный.
BT3	107-125 18	Плотнее предыдущего, окраска неоднородная, на общем фоне (7,5YR4/6) встречаются более крупные (до 2 мм) темные примазки, на гранях структурных отдельностей

выделяются единичные глинистые кутаны, менее оструктурен, единичные мелкие (до 2 мм) корни, средний суглинок.

Почва: подзолистая текстурно-дифференцированная потечно-гумусовая.

ЗУК (Р-5-УК-13). Усть–Куломский район. Возвышенность Жежим Парма. Вырубка 1970 года. Березняк разнотравный. Координаты: 61°48'24,6'' с.ш., 54°04'42,6'' в.д.. Слабо выраженный микрорельеф в месте заложения разреза. Заложен в 20 м от волока, в окне – в 1,5 м от ели, диаметром 84 см. В 1,5 м располагался хорошо разложившийся еловый пень (распадался на труху). Хвощ лесной, единично – черника, зеленые мхи.

Описание почвенного профиля:

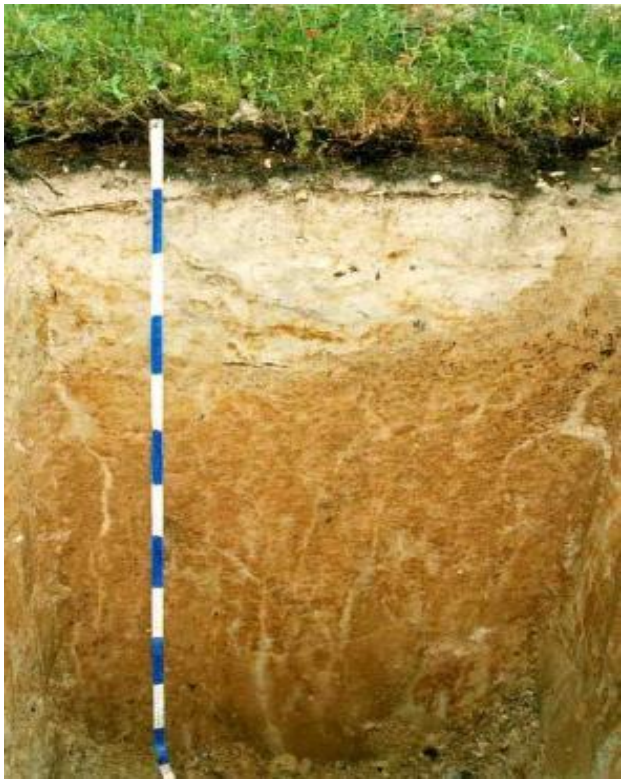
Горизонт	Глубина, см / мощность, см	Морфологическое описание
O (L)	0-1 / 1	Доминирует прошлогодний опад лиственных деревьев. Сухой, слежавшийся, местами среднеразложившийся, рыхлый. Переход ясный по степени разложения.
O (F)	1-4 / 3	Среднеразложившиеся органические остатки, пронизан гифами грибов, частично встречается хорошо разложившийся валеж. Бурый, нижняя часть хорошо разложившаяся, рыхлая. Граница волнистая, переход заметный.
ELhi	4-8 / 4	Серовато-бурый (2,5Y7/2) легкий суглинок, сухой, очень рыхлый, мелкоплитчатая структура, много крупных корней (диаметром до 5 мм), и много мелких, граница волнистая, переход ясный по окраске.

ELn	8-21 13	Окраска неоднородная, на сером фоне (2,5Y6/3) желтоватые включения (10YR5/4), много темно-бурых Fe-Mn примазок и конкреций. Сухой, очень рыхлый легкий суглинок. Конкреции встречаются равномерно по горизонту, структура плитчатая, более плотный, чем предыдущий, мелкопористые, встречаются редкие поры до 2 мм диаметром, редкие крупные корни, много мелких, выражена потечность органического вещества, граница волнистая, переход заметный по окраске.
EL	21-30 9	Серовато-желтый (2,5Y6/3), свежий, очень рыхлый, встречаются редкие крупные конкреции до 1,5 мм диаметром, по гранях структурных отдельностей – осветления, легкий суглинок, тяжелее предыдущего, пористый, структура плитчатая, по плотности аналогичен с вышележащим горизонтом, трещины пропадают после данного горизонта, встречаются крупные корни (до 1 см), граница волнистая, переход ясный по окраске.
BEL	30-43 13	Окраска неоднородная, на желтовато-буром фоне (10YR5/4) единичные темные Fe-Mn примазки диаметром до 1 мм, на гранях структурных отдельностей, как и в вышележащем горизонте можно отметить осветление, которое здесь ярче выражено. Свежий, рыхлый, средний суглинок, пористый, единичные крупные корни, граница языковатая, переход заметный по окраске.
BT1	43-70 27	Свежий, влажнее предыдущего, окраска неоднородная, педы бурого цвета (10YR4/4), скелетаны по граням структурных отдельностей, но не сплошной пленкой, средний суглинок, тяжелее предыдущего, мелкопористый, единичные крупные корни диаметром до 3 мм, единичные мелкие – до 1 мм. Граница ровная, переход заметный.
BT2	70-107 37	Схож с предыдущим горизонтом, но в отличие от него – плотнее, менее выражены скелетаны, структура приобретает форму, напоминающую призмы, средний суглинок, тяжелее предыдущего. Граница ровная, переход постепенный.
BT3	107-125 18	Окраска неоднородная (7,5 YR 4/4), скелетаны менее выражены, более влажный, тяжелый по гранулометрическому составу, плотный, чем предыдущий горизонт. В остальном – схож с BT2.

Почва: подзолистая текстурно-дифференцированная потечно-гумусовая, конкреционная

1ПР (Р-1-2002). Условно-фоновым участком послужил сосняк бруснично-зеленомошный (недоруб), сохранившийся на территории лесозаготовок. Состав древостоя 8С2Ос, средний возраст деревьев 110 лет, средняя высота – 25 м, средний диаметр – 26 см. В напочвенном покрове преобладают зеленые мхи *(Pleurozium schreberi, Polytrichum commune)*, в микропонижениях - куртины сфагновых мхов. Кустарничковый ярус представлен брусникой (*Vaccinium vitis-idaea)* и единично черникой *(Vaccinium myrtillus)*. Из трав встречены марьяник луговой *(Melampyrum pratense)*, ожика волосистая (*Luzula pilosa).*

Характеристика морфологических и физико-химических свойств почвы данного участка дана на примере разреза Р-1-2002, заложенного в межкроновом пространстве. Координаты разреза: 60°10'8.6" СШ; 49°40'44.6" ВД, высота над уровнем моря 144 м.



Описание почвенного профиля:

Гори -зонт	Глубина, см / мощность, см	Морфологическое описание
O(L) +Оч.		Живые части стеблей зеленых мхов (кукушкин лен), корни брусники и черники. Листья березы, осины, сосновая кора, шишки и ветви сосны.
O(F)	0-5 / 5	Бурый. Войлокообразный. Представлен слаборазложившимися остатками мхов, шишек, хвои, ветвей. Пронизан корнями кустарничков. Мицелий грибов.
O(H)	5-6 / 1	Темно-серый. Хорошо разложившийся, оторфованный. Ткани сохранены только у единичных растительных остатков. Обильно пронизан корнями. Влажный. Встречаются вкрапления зерен песка. Переход постепенный.
Ehi	6-7 / 1	Темно-серый, с углистыми вкраплениями, пористый, мажущий, сырой. Граница перехода неровная.
Eg	7-20 / 13	Белесо-серый, рыхлый, бесструктурный песок. Пронизан корнями. По порам, образованным корнями, светло-ржавые стяжения. Обилие гальки. Присутствуют Fe-Mn темно-бурые конкреции. Свежий. Граница языковатая. Переход ясный.
BFg	20-40 / 20	Неоднородной окраски: на светло-сером фоне темно-бурые и охристо-ржавые пятна. В морфонах охристо-ржавого цвета обилие конкреций разных по плотности. Бесструктурный песок. Корней мало. Галька, валуны. Переход резкий по гранулометрическому составу.
BDeg	40-49 / 9	Легкий суглинок неоднородной окраски: на буром фоне сизые и ржаво-бурые пятна. Плотный, плитчатый, пористый, сырой. Крупная вертикальная трещина, горизонтальные линзы песка, валуны, галька. По морозобойным трещинам встречается кремнеземистая присыпка. Переход постепенный.
BD1g	49-85 / 36	Ржаво-бурый с сизыми пятнами, плитчато-ореховатой структуры. Легкий суглинок. Встречаются линзы песка,

		окатанная галька. По передней стенке крупная вертикальная трещина. Мелкие железо-марганцевые примазки. Переход постепенный.
BD2g	85-117 / 32	Бурый средний суглинок с сизыми пятнами. Влажный. Слабо оструктурен, плитчатый. Плотный. Липкий, пористый. Встречаются мелкие черные марганцовистые включения. Окатанная галька.

Почва: подзол иллювиально-железистый, литобарьерный на песках подстилаемых легкими суглинками.

2ПР. Заложен на территории «пасечного» участка вырубки 1994 г. В настоящее время здесь формируется вторичный березняк долгомошный. Состав древостоя представлен лиственными породами (береза, осина) с примесью сосны и единично ели. Формула состава древесного яруса 4Ос4Б2С+Е со средним диаметром дерева 2.5 см и средней высотой 3 м. Обще количество подроста 15.3 тыс.шт./га. В напочвенном покрове преобладают кукушкин лен (*Polytrichum commune*), осока шаровидная *(Carex globularis),* брусника (*Vaccinium vitis-idaea).* Отмечено появление щитовника картузианского (*Dryopteirs carthusiana*), вейника пурпурного (*Calamagrostis purpurea*), ожики волосистой (*Luzula pilosa),* хвоща лесного *(Equisetum sylvatium),* мятлика (*Poa sp).*

В связи с большой захламленностью территории закладка траншей на данном участке оказалась невозможной, поэтому изучение свойств почв во вторичном березняке проводили с помощью разрезов. Схема расположения разрезов представлена на рис. 1. Для выявления пределов варьирования мощности верхних генетических горизонтов почвы на данном участке дополнительно была заложена серия прикопок. Опорные разрезы (Р-1-2004; Р-2-2004) закладывали таким образом, чтобы охватить все возможные группировки напочвенного покрова, который в течение первых нескольких лет после рубки леса играет на вырубках роль эдификатора.

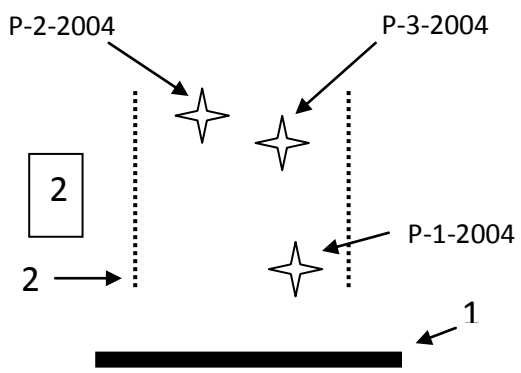


Рис. 1. Схема расположения почвенных разрезов в 10-летнем березняке:

1 – магистральный трелевочный волок; 2 – пасечный волок.

Как показало рекогносцировочное обследование, на территории вырубки 1994 г. в напочвенном покрове можно выделить два основных типа группировок. В основном на территории «пасечного» участка напочвенный покров представлен кустарничковым (брусника) и моховым (кукушкин лен со значительным участием гипновых мхов) ярусами. Однако в небольших микропонижениях гипновые мхи полностью уступают место политрихуму, а кустарничковый ярус сменяют травы – вейник пурпурный, ожика волосистая, хвощ лесной, мятлик, папоротник. В соответствии с этим один разрез (Р-1-2004 – 1) был заложен в микропонижении с разнотравно-долгомошным, а два других (Р-2-2004 – 2) – на участках с кустарничково-долгомошным напочвенным покровом.

Ниже приводим морфологическое описание разрезов, характеризующих почву вырубки 1994 года.

Разрез **Р-1-2004** заложен в небольшом микропонижении в 0.7 метра от 10-летней березы, в 4-х метрах от трелевочного волока второго порядка. Координаты разреза: 60^0 10' 5.1" с.ш.; 49^0 40' 49.5" в.д., высота над уровнем моря 144 м. В напочвенном покрове кукушкин лен с обилием злаков и осок, единично – брусника и папоротниковые.

Описание почвенного профиля:

Горизонт	Глубина, см / мощность, см	Морфологическое описание
O(L)+Оч.	0-4 / 4	Живые части стеблей политрихума, корни брусники. Опад лиственных деревьев, ризоиды мхов, полуразложившиеся остатки стволов, ветвей, коры сосны и ели.
O(F)	4-8 / 4	Темно-серый, хорошо разложенный, оторфованный, ткани сохранены только у единичных растительных остатков. Обильно пронизан корнями. Влажный. Встречаются углистые включения, зерна кварца (углистых частиц меньше, чем в соответствующем горизонте контрольного участка, однако он более мажущий и гумусированый).
O(H)	8-12 / 4	Темно-серый, с углистыми вкраплениями, пористый, мажущий, сырой. Переход заметный, граница неровная.
Eg	12-15 / 3	Неоднородно окрашен: белесо-серый с темно-серыми ржаво-охристыми пятнами. Супесчаный, слабоструктуренный. Присутствуют Fe-Mn конкреции темно-бурого цвета. Корни. Переход заметный.
BFg, n	15–20 / 5	Сизовато-серый. Супесчаный. Обилие конкреций различного диаметра: от мелких (диаметр менее 1 мм) до крупных (более 3-х мм). Встречаются полуразложившиеся растительные остатки. При обработке образца почвы αα-дипиридилом наблюдается характерная для глеевых горизонтов малиновая окраска. Пористый. Мокрый. Переход заметный.
BGn	20-40	Супесь неоднородной окраски: на буром фоне

	20	сизые и ржаво-бурые пятна. Плотный, плитчатый, пористый, мокрый. Конкреции. Крупная вертикальная трещина, горизонтальные линзы песка, валуны, галька. По морозобойным трещинам кремнеземистая присыпка. Переход постепенный.
BDe, g	40- 45 / 5	Неоднородной окраски: на буром фоне серые и ржавые пятна. Супесь. Слабо выражена плитчато-глыбистая структура. Встречаются линзы песка, окатанная галька. Крупная вертикальная трещина. Мелкие железо-марганцевые примазки. Сырой. Переход постепенный.
BD1g	45-63 / 18	Ржаво-бурый, легкосуглинистый. Плотный, липкий, пористый. Слабоструктурен. Встречаются мелкие черные марганцовистые включения. Окатанная галька. Сырой.

Почва: торфяно-подзол иллювильно-железистый глееватый литобарьерный

Вода в разрезе вскрыта на глубине 64 см, через 2 часа уровень почвенно-грунтовых вод поднялся до 35 см.

Разрез **Р-2-2004** заложен в 15 метрах от разреза Р-1-2004, в одном метре от подножия микроповышения (старый пень), в 1.5 метрах от осины высотой 3 метра. В напочвенном покрове преобладают зеленые мхи, брусника, единично встречается земляника.

Описание почвенного профиля:

Горизонт	Глубина, см / мощность, см	Морфологическое описание
O(L)+Oч.	0-6 / 6	Живые мхи, брусника. Ветви деревьев. Опад березы, осины.
O(F)	6-11 / 5	Темно-бурый, представлен полуразложившимися остатками мхов, веток, порубочных остатков. Влажный. Пронизан корнями.
O(H)	11-19 / 8	Темно-серый, мажущий, хорошо разложенный, оторфованный. Встречаются минеральные прослойки

		ржаво-серого цвета. Сырой. Корни. Переход заметный.
Ehi	19-21 / 2	Темно-серый, с углистыми вкраплениями, пористый, мажущий, сырой. Супесчаный. Выделяется фрагментарно. Граница неровная.
Eg	21-30 / 9	Окраска неоднородная: на сером фоне охристо-ржавые пятна. Встречаются Fe-Mn конкреции ржаво-бурого цвета. Бесструктурный. Супесчаный. Пронизан корнями. Переход ясный по цвету.
BFg	30-50 / 20	Окраска неоднородная: на буром фоне сизовато-серые пятна. Обилие конкреций. Супесчаный. Пронизан корнями. Переход ясный по структуре и гранулометрическому составу.
BDe, g	50-57 / 7	Окраска неоднородная: на светло-буром фоне серые пятна. Легкий суглинок. Структура плитчато-ореховатая. Мокрый. С глубины 58 см сочится вода. Переход заметный по механическому составу.
BD1g	57-70 / 13	Окраска неоднородная: на светло-буром фоне серые пятна. Средний суглинок. Липкий. Сырой.

Почва: торфяно-подзол иллювильно-железистый литобарьерный.

ЗПР. Участок выделен на пасечном участке вырубки 1983 г. Древесная растительность представлена березой, осиной с примесью подроста ели и сосны. Формула состава древесного яруса 9Б1Ос+Е+С. Средняя высота деревьев – 8.5 м, средний диаметр – 6 см. Общее количество подроста 3800 шт./га. В подлеске ива, рябина. В напочвенном покрове доминирует кукушкин лен, единично встречается *Rhytidiadelphus squarrosus.* Из травянистых растений присутствуют княженика арктическая *(Rubus arcticus),* костяника обыкновенная *(Rubus saxatilis),* мятлик, осока шаровидная, бодяк разнолистный, иван-чай узколистный *(Chamaenerion angustifolium).*

В этом типе сообщества опорный разрез Р-3-2002 заложен на расстоянии 3-х метров от 20-летней осины. Координаты разреза: $60^0$10'4.6" с.ш., $49^0$40'40.1" в.д., высота над уровнем моря 145 м.

Описание почвенного профиля:

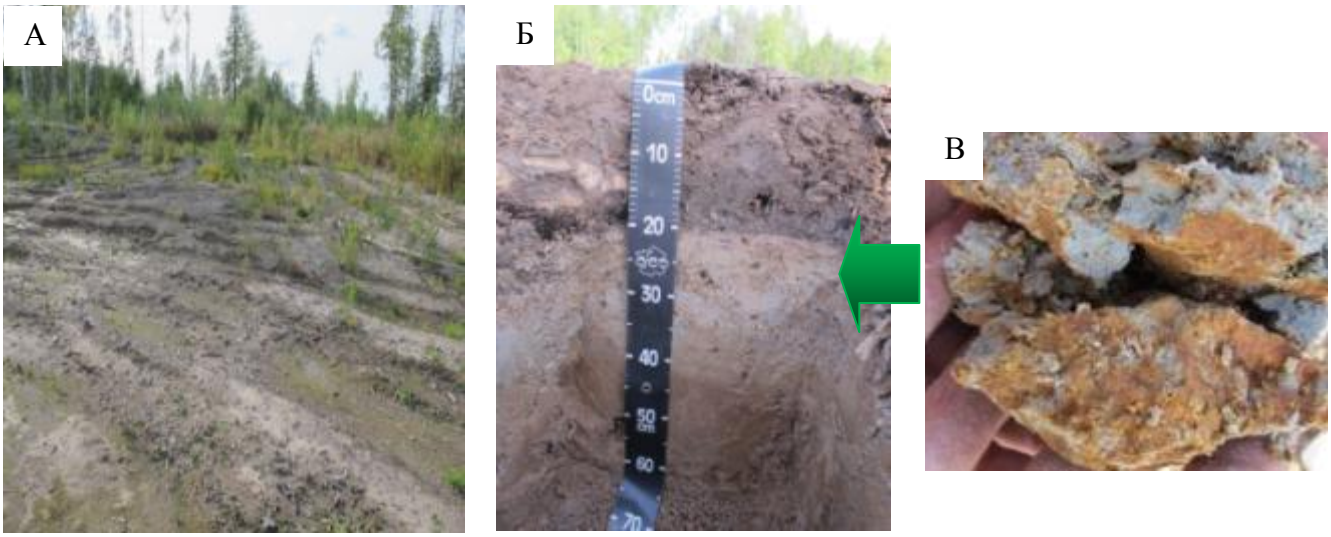
Горизонт	Глубина, см / мощность, см	Морфологическое описание
O(L)+Oч.		Живые части стеблей зеленых мхов (кукушкин лен), корни брусники и черники, листья березы, осины, рябины.
O(F)	0-7 / 7	Бурый. Представлен обилием слаборазложившихся остатков мхов, шишек, хвои, ветвей; пронизан корнями кустарничков. Мицелия меньше, чем в соответствующем горизонте контрольного участка.
O(H)	7-9 / 2	Хорошо разложившаяся органическая масса темно-серого цвета, ткани сохранены только у единичных растительных остатков. Липкий, мажущий. Обильно пронизан корнями. В нижней части углистые включения. Влажный. Переход постепенный.

Ehi	9-12 / 3	Темно-серый, с углистыми вкраплениями, пористый, мажущий, сырой. Выделяется фрагментарно.
Eg	12-30 / 18	Белесый, рыхлый, бесструктурный, песок с сизыми пятнами. Пронизан корням, по ходам пор светло-ржавые стяжения. Встречаются конкреции. Галька, валуны. Влажный. Граница языковатая.
BFg	30-51 / 21	Неоднороднoокрашен: ржаво-бурый с серо-сизыми пятнами. Супесь. Бесструктурный, слегка сцементирован. Присутствуют конкреции различного диаметра (до 3-4 мм). Влажный. Переход резкий по гранулометрическому составу.
BDe, g	51-65 / 14	Светло-бурый, плотный, плитчатый, пористый, уплотнен. Легкий суглинок. Структура плитчато-мелкоглыбистая. Присутствуют Fe-Mn конкреции. Валуны, галька. Линзы песка. Переход постепенный по структуре и цвету.
BD1g	65-87 / 22	Суглинок, бурый с сизыми пятнами, плитчато-ореховатый, сырой. Линзы песка. Примазки диаметром до 1 мм.

Почва: подзол иллювиально-железистый глееватый, литобарьерный.

Техногенно-преобразованные почвы (Турбоземы).

1Т (Р. 28-15) Сыктывдинский район РК. Лесопогрузочная площадка 2009 года и 2013 годов (2 года с момента последнего воздействия). До рубки – лиственно-хвойный чернично-зеленомошный лес. Возобновление древесной растительности на волоках замедлено. Задернение минерализованных участков происходит вейником, осоками. По колеям доминируют зеленые мхи.



Общий вид лесопогрузочной площадки (А), строение профиля почвы (Б), структура срединных переуплотненных горизонтов (В).

Описание почвенного профиля:

Гори-зонт	Глубина, см / мощность, см	Описание
TUR1 cwd	0-10 / 10	Серый с сизоватыми глеевыми пятнами, основу составляет легкосуглинистый материал, более легкие супесчаные отдельности, очень много древесных остатков, хорошо разложившийся (ломаются рукой), свежий, рыхлый, наименее уплотнен, встречаются ржавые прослойки, бесструктурный, переход постепенный по цвету и влажности.
TUR2 cwd	10-20 / 10	Основа – легкий суглинок, древесных остатков больше (до 40%), сизый, встречаются бревна 10-15 см, в этом больше всего древесных остатков, наименее разложены, уплотнен, много ржавых стяжек, свежий, переход ясный по цвету
BG	20-40 / 20	Средний суглинок, неоднородной окраски, основа – светло-серый, но на горизонтальных гранях много ржавых ожелезненных прослоек, структура хорошо делится на плитки от 7 до 10 мм, поверхность агрегатов покрыта ржавыми Fe-Mn пленками. Сильно переуплотнен, обилие конкреций, поры отсутствуют, свежий, мелкие окатанные

		камни и галька, переход постепенный по цвету и гранулометрическому составу.
ВТ	$\frac{40\text{-}65}{25}$	Тяжелый суглинок, бурый, свежий, переуплотнен на поверхности педов белесые присыпки, липкий, структура менее выражена, чем в фоновых почвах.

Почва: турбозем детритный. (Исходная почва – подзолистая текстурно-дифференцированная)

Гипотеза: вероятно, происхождение верхних горизонтов (до 20 см) связано с привносом их на колесах (движителях) с волоков и перемешиванием их. Турбированы только 20см, ниже естественное происхождение, но последние сильно переуплотнены. Ржавые поверхности педов на глубине 20-40 см, вероятно, связаны с застойным режимом при обилии в воде органических соединений. Вода сочится с глубины 20 см.

2Т (Р-2-2002). Прилузский район РК. Вырубка 1994 года (на момент исследования 8 лет). Координаты участка $60^0$10'10.9" с.ш.; $49^0$40'55.1" в.д., высота над уровнем моря 144 м. Почва колеи трелевочного волока, скальпирована, лишена естественного напочвенного покрова. Свободные от древесных остатков участки постепенно зарастают куртинами пионерной растительности: иван-чаем узколистным *(Chamaenerion angustifolium)*, щучкой дернистой (*Deschampsia caespitosa*), мятликом *(Poa sp.),* осокой шаровидной *(Carex globularis)* и др. Местами появляются единичные побеги ивы и осины. Дернина как таковая отсутствует, местами в колее стоит вода.

Описание почвенного профиля:

Гориз онт	Глубина, см/ мощность, см	Морфологическое описание
TUR1	0-23 / 23	Слой песка серого цвета, пронизан корнями. Обилие сизых пятен. По ходам корней ржавые стяжения. Встречаются крупные ржаво-бурые конкреции, обилие остатков древесины, коры, бревен, порубочных остатков. Валуны. Граница волнистая.
[CWD/O]	23-26 / 3	Черные гумифицированные с неприятным сероводородным запахом остатки кукушкина льна, порубочных остатков с хорошо сохраненными стеблями и листьями растений.
TUR2g	26-43 / 17	Сизый глеевый горизонт, плотный, пористый, комковатый, сырой, на гранях агрегатов светло-бурые пятна. По трещинам пор светлые кварцевые зерна. Легкий суглинок. Граница ровная. Переход резкий по цвету.
BD1g	43-54 / 11	Ржаво-бурый суглинок с сизыми пятнами, плотный, плитчатый, пористый, сырой. Галька, трещины. Переход постепенный.
BD2g	54-77 / 23	Плотный бурый суглинок с ржавыми и сизыми пятнами, плитчатый, пористый, сырой. Галька.

Почва: турбозем детритный (исходная почва – подзол литобарьерный на песках подстиламых суглинкамии).

3Т (Р-4-2002). Прилузский район РК. Вырубка 1994 года (на момент исследования 8 лет). Разрез, характеризующий лесопогрузочную площадку, заложен на участке, где почва полностью трансформирована и представляет собой смесь минерального грунта и различных растительных остатков, находящихся в разной стадии анаэробной трансформации, о чем свидетельствует специфический запах анаэробного брожения.

Описание почвенного профиля:

Горизонт	Глубина, см / мощность, см	Морфологическое описание
TUR1	0-10 / 10	Бурый минеральный субстрат с обилием щепок, коры, опилок, ветвей и других растительных остатков. Влажный. Граница неровная, переход постепенный.
TUR2	10-40 / 30	Более темной окраски, представлен погребенными сучьями, щепками, бревнами. В нижней части, на глубине 30-40 см, органические остатки имеют более черный цвет и более гумифицированный характер. Однако погребенные мхи имеют буро-зеленый оттенок, их ткани полностью сохранены. Слой с неприятным запахом. Сырой. В нижней части наблюдаются темные затеки в нижележащий слой.
TUR3	40-60 / 20	Серо-сизый песок с включениями линз суглинка и вкраплениями древесных остатков, которые на глубине 55-70 см образуют четко выраженный слой погребенных ветвей. Сырой.
BD1	60-80 / 20	Сырой сизый песок с прослойками сизого плотного пористого суглинка. Мокрый. Сочится вода.

Почва: турбозем детритный (исходная почва – подзол литобарьерный на песках подстиламых суглинкамии).

4Т (Р. 26-15). Прилузский район РК. Координаты: 60°10'08,9" с.ш.; 49°40' 58,9" в.д.. Разрез на лесопогрузочной площадке. Вырубка 1994 года, сосняк бруснично-зеленомошный (на момент исследований 21 год). Приблизительно на том же месте, что и разрез 2-2002. Идет зарастание сосной, березой, ивой, ольхой. В напочвенном покрове вейник, иван-чай, зеленые мхи, кукушкин лен.

Описание почвенного профиля:

Горизонт	Глубина, см / мощность, см	Морфологическое описание
AY	0-2 / 2	Маломощный слой, представленный остатками зеленых мхов, пронизан корнями трав. Корней много, бесструктурный. Остатки разлагающейся древесины. Много муравьев, личинок.
TUR1	2-10 / 8	7,5 YR3/1. Темно-серый, неоднородный по механическому составу (с преобладанием песка). Пропитан органикой из вышележащего горизонта. Глееватый. Много различных органических компонентов. Много камней, гальки, валунов. Бесструктурный, ржавые пятна (вероятно разлагающаяся древесины). Доля погребенной органики около 10 %.
TUR2	10-20 / 10	Серый (2Y4/1-4/2), неоднородный по механическому составу (с преобладанием песка). Глееватый. Много различных органических компонентов. Много камней, гальки, валунов. Бесструктурный, ржавые пятна(вероятно разлагающаяся древесины). Доля погребенной органики около 10 %.
[CWD / O]	20-40 / 20	5Y3/1 до 4/1. Неоднородный по цвету, механическому составу, органическим включениям. Много

		древесных разлагающихся остатков. Вершины ветвей на различной степени разложения. Рыхлый. Органические компоненты только в нижней части горизонта.
Bg	40-70 / 30	5Y5/2. Серый, неоднородный по механическому составу от песка (более ржавый цвет) до среднего суглинка. До верхней границы этого горизонта точно проходит турбация. Бесструктурный, влажный. Встречаются ржавые пятна (линзы) до 15 см в ширину и 10 в высоту. Много железистых прослоек. Поверхность педов более прочная, гидрофобная. Много окатанной гальки, камней с общим объемом до 10 %. По граням камней Fe-гумусовые затеки. Граница ровная, переход ясный. Отдельно отобрали с глубины 40 -50 см. (с прослойками Fe)
Bt, g	70-100 / 30	10YR4/4. Серый с сизым оттенком. Легкий суглинок. Плитчатая структура. Сырой. Песчаный горизонт поступает из вышележащего горизонта. Признаки горизонта ВТ в виде бурых натеков на гранях структурных отдельностей. Неоднородного механического состава. Заливается водой.

Почва: турбозем детритный (исходная почва – подзол литобарьерный на песках подстиламых суглинкамии)

5Т (Р-5-15). Лесопогрузочная площадка (33 года). Березняк злаково-осоковый. Водораздел, хорошо дренируемый. Координаты: 60°42'30,3" с.ш.; 49°28' 55,6" в.д.. Разрез в 10 метрах от старой лежневой дороги. Бывшая вырубка сильно изъезжена, много трелевочных волоков, как магистральных, так и единичных проходов тяжелой техники. Во вторичном лесу проводили рубки ухода, часть осины и березы была вырублена. Древостой характеризуется сложным составом вследствие неоднородности условий на послерубочных участках. В его составе доминирует береза, отмечены такие породы как осина, ель, сосна, ива. Высота основного яруса 8-12 м. В подросте наиболее активно возобновляется ель, встречается подрост березы, осины и сосны. В подлеске представлены рябина, спирея, малина. ОПП травяно-кустарничкового яруса на опорном участке около 30%. В результате уничтожения лесного сообщества произошла смена доминантов. Преобладают осоки (осока ранняя – *Carex praecox*, О. шаровидная – *C. globularis*, О. дернистая – *C. cespitosa*). Заметным обилием характеризуется вейник пурпурный –

Calamagrostis purpurea. Под пологом осок и злаков довольно обильна кислица – *Oxalis acetosella*. В мохово-лишайниковом ярусе, ОПП которого достигает 30%, доминирует кукушкин лён (*Polytrichum commune*) – вид мхов, часто заселяющий постпирогенные и послерубочные леса. По повышениям микрорельефа отмечены лишайники: *Cladonia rangiferina*, *Stereocaulon paschale*.

А

Б

Описание почвенного профиля:

Горизонт	Глубина, см / мощность, см	Описание
O	0-1 / 1	Маломощный, преимущественно свежий опад осины и березы. В средней части формируется ферментативный подгоризонт. Подгоризонт гумификации не диагностируется. Влажный. Растительные остатки на разной степени разложения, гифы грибов. Переход ясный. Граница повторяет микрорельеф.
TUR1cwd	1-13 / 12	10YR6/3. Серый, однородный, легкий суглинок, свежий, рыхлый, пронизан корнями, переуплотнен, на поверхности педов потечный гумус, значительное количество растительных (порубочных) остатков. Структура слабовыраженная, комковато-плитчатая. Агрегаты сцементированы, корни до 1 см., единичные ржавые линзы (по ходам старых ветвей), темные Fe-Mn примазки. Переход постепенный,

		граница повторяет микрорельеф.
TUR2g, cwd	13-25 / 12	10YR6/3. Серовато-сизый, неоднородной окраски, легкий суглинок, переуплотнен. Много разлагающихся древесных остатков. Обилие ржавых стяжений, поверхность структурных отдельностей ржавая до темно-бурой. Темные примазки, очень плотный, существенно плотнее, чем TUR1, угли, обилие окатанных камней и погребенной органики, много живых корней. Переход постепенный, граница ровная.
TUR3g	25-60 / 35	Неоднородной окраски, преобладающий цвет бурый (2,5 Y 7/2), тяжелый суглинок. Выделяются морфоны с погребенными подзолистым и иллювиальным горизонтами, влажный, наиболее плотный в профиле, бесструктурный, свежий, липкий, нет погребенной органики, наличие темных примазок. Окатанные камни и галька, наблюдается хаотично с выходами песчаного нижележащего горизонта. Переход ясный по гранулометрическому составу, граница ровная.
BCtch	60-140 / 80	10YR 5/6. Желто-бурый песок, свежий, бесструктурный с чередующимися прослойками супеси более бурого цвета, отсутствует галька и валуны.

Почва: турбозем детритный (исходная почва – подзолистая)

6Т (Р-6-15). Березняк чернично-долгомошный, расположен на магистральном волоке вырубки 1982 года. Координаты: 60°42'29,3" с.ш.; 49°28'54,8" в.д.. Магистральный волок в 10м от старой лежневки, в 25 м от лесопогрузочной площадки. Хорошо сохранившийся техногенный микрорельеф. Глубина колеи 25-30 см. Ширина каждой колеи 50-60 см. Приблизительный возраст волока – 33 года. Древостой характеризуется сложным составом вследствие неоднородности условий на технологических участках вырубок. В его составе доминирует береза, отмечены такие породы, как осина, ель, сосна, ива. Высота основного яруса 8-12 м. В подросте наиболее активно возобновляется ель, встречается подрост березы, осины и сосны. Подлесок довольно сомкнут (0.4). Доминирует рябина, отмечена малина. В составе травяно-кустарничкового яруса (ОПП 40-50%) сохраняют лидирующие позиции лесные кустарнички: черника – *Vaccinium myrtillus* и брусника – *Vaccinium vitis-idaea*. Заметным обилием также обладают голокучник трехраздельный – Gymnocarpium dryopteris и осока шаровидная – *Carex globularis*. Можно констатировать, что смены доминантов ТКЯ в ходе сукцессии, в отличие от соседнего участка, не произошло. В напочвенном покрове доминирует кукушкин лён – *Polytrichum commune*. ОПП этого яруса достигает 60 %, что позволяет отнести сообщество долгомошной группе типов.

Приведено описание 2-х сегментов (колея и бровка), отличающихся по морфологическим свойствам.

Описание почвенного профиля:

1. **Колея**. Волок расположен на склоне, поэтому процессы оглеения практически не выражены. Описание почвенного профиля:

Горизонт	Глубина, см / мощность, см	Описание
O	0-2 / 2	Прошлогодние листья, свежий опад, единичные мхи, маломощный, начало формирования подстилки, войлокообразный, углей нет. Переход ясный, граница волнистая.
TUR1	2-10 / 8	Неоднородный по цвету, от белесого (встречаются линзы подзолистого) до иллювиального желто-бурого 2.5Y6/3, легкий суглинок, обилие погребенных растительных остатков, свежий, единичные живые корни до 1 см, сильно перемешан, бесструктурный, рыхлый. Переход ясный по цвету.
TUR2	10-20 / 10	2.5Y7/3. Серовато-бурый, легкий пылеватый суглинок, сухой, структура слабовыражена, но есть тенденция к горизонтальной делимости, плотнее, чем TUR1, мелкие окатанные камни, есть погребенный органический материал (ветки). Переход постепенный, граница повторяет прогиб в колее.
TUR3	20-32 / 12	2.5Y7/3. Серый, легкий суглинок, свежий, наиболее переуплотнен, отсутствуют поры, отличается большей пропиткой органическим веществом, бесструктурный, наличие камней и плотной породы, есть примазки, выделяется данный горизонт только на колее (т.к сформирован под воздействием тяжелой агрегатной техники). Представлен привносным материалом!!! Переход ясный, граница ровная.
BC1tch	32-50 / 28	10YR6/4. Желтовато-бурый, неоднородный по гранулометрическому составу, основа – супесь, но есть пятна суглинистого материала. Супесь - бесструктурная, в суглинистых морфонах мелкокомковатая структура. Переход постепенный, граница ровная.
BC2tch	50-80 / 30	10YR5/4. Желтовато-бурый, легкий суглинок. Плитчато-ореховатый. Основное отличие от вышележащего горизонта в более высокой доле супесчаных фрагментов. Переход постепенный, по гранулометрическому составу.
Ctch	80-100 / 20	10YR5/6. Желтый, бесструктурный песок, свежий. Встречаются легкосуглинистые слои мощностью от 0.5 до 3 см.

2. **Бровка.**

Описание почвенного профиля:

Горизонт	Глубина, см / мощность, см	Описание
O	0-2 2	Подстилка схожа с колеей, но больше кукушкиного льна, формирующегося на новом субстрате.
TUR	2-17 15	2.5Y7/3. Желтовато-бурый, средний суглинок, плотный, сухой, мелкокомковатый, пронизан корнями до 8-10 мм., скорее всего этот горизонт привнесен стволами трелюемых деревьев или техникой, встречаются хорошо разложившиеся растительные остатки.
[O]	17-20 3	Темно-серый (10YR5/7), много углистых включений, сухой, погребенная подстилка, хорошо разложившийся органический материал. Среднесуглинистый.
[EL]	20-25 5	Светло-серый (10YR8/1), легкий суглинок, бесструктурный, однородный, единичные корни, граница волнистая, переход ясный по цвету.
BF	25-35 10	От желтовато-бурого до ярко-ржавого (10YR4/6), свежий, легкий суглинок, слегка уплотнен, пронизан корнями, местами железистые включения с большим количеством органического вещества, корни до 2 мм, бесструктурный. Переход постепенный, граница ровная.
BC	35-60 25	Желтовато-бурый (10YR5/6), неоднородный по гранулометрическому составу, фрагменты супеси и легкого суглинка. Суглинок более оструктурен, свежий, единичные корни, окатанные камни, прослойки суглинистого материала расположены горизонтально. Переход постепенный, граница ровная.
C	60-110 50	10YR4/6. Желтый однородный песок, свежий, через каждые 10 см супесчаные прослойки бурого цвета, более плотные. Отобрали 1 образец песчаный, 2 – супесчаный.

Почва: турбозем (исходная почва – подзолистая).

7Т (Р-7-15). Усть-Куломский р-н, РК. Координаты: 61°47' 09,9" С.Ш.; 54°05' 46,9" В.Д.. Участок 3УК. Колея трелевочного волока, вблизи опорного разреза на участке средневозрастного березняка, сформировавшегося на вырубке ельника 1970 года (45 лет на момент исследования). Сохранился микрорельеф, верхний турбированный горизонт, тоже сохранился. По колее активно возобновляется ель под пологом березы. Погребенного горизонта (отмеченного в рамках проведения полевых в 2006 году) выявить не удалось.

Описание почвенного профиля:

Горизонт	Глубина, см / мощность, см	Описание
O(L)	0-1.5 / 1.5	Лиственный опад, неразложившийся. Свежий, пронизан корнями березы.
O(F+H)	1.5-3 / 1.5	Хорошо и среднеразложившийся органический материал. От бурого до темно-серого. Свежий, пронизан корнями, Преобладает материал из подгоризонта F, хорошо разложившийся материал только несколько миллиметров
TUR	3-17 / 14	Неоднородной окраски, преобладающий цвет серовато-сизый -10YR4/2, сопутствующий буровато-ржавый 10YR5/4. Турбирован, много разлагающихся растительных остатков. Оглеение. Сырой, бесструктурный. Много ржавых стяжений пронизан корнями, Рыхлый. Граница волнистая, переход повторяет различия горизонта колеи и бровки.
EL	17-40 / 23	10YR5/4. Желтовато-бурый легкий пылеватый суглинок. Плитчатый. Влажный. Много корней. Переуплотнен. Рыхлый. Единично корни. По нему течет вода. Примазки, конкреции. Переход постепенный, граница языковатая, языки входят на 10-15 см в гор. BT.
BEL	40-60 / 20	7.5YR4/3. Бурый, средний суглинок. Свежий. Наличие скелетан и кутан по поверхности педов. Плотный, пористый.

Почва: туробозем текстурно-дифференцированный (исходная почва – подзолистая текстурно-дифференцированная)

Приложение 1.2 – Физико-химические свойства почв (ельники черничные и вторичные леса).

Горизонт	Глубина, см	pH		Hг*	Обменные катионы		V**	C	N	C:N	Оксалато-растворимые		Fe_2O_3 дит.***
					Ca^{2+}	Mg^{2+}					Fe_2O_3	Al_2O_3	
		водн.	сол.	смоль кг$^{-1}$ почвы			%				%		
1УК, Р-1-УК-13 (условно-фоновый участок)													
валежина		3.9	2.8	88.2	12.8	1.44	14	55.1	0.30	214	н.о.		
O (L)	0-3	4.6	3.9	58.8	21.4	7.8	33	44.2	1.63	32			
O (F)	3-6	4.3	3.3	56.3	15.7	2.98	25	43.2	1.9	27			
O (H)	6-8	4.0	2.9	73.7	11.4	3.03	16	35.8	1.58	26			
ELe	8-11	3.9	2.9	14.9	0.60	0.28	6	2.2	0.148	17	0.18	0.28	0.22
ELhi	11-14	4.1	3.3	5.9	0.71	0.32	15	3.2	0.22	17	1.27	0.54	1.36
EL	14-30	4.9	3.8	8.8	0.57	0.210	8	0.41	0.046	10	0.66	0.44	0.94
	30-40	5.0	3.8	8.3	0.50	0.243	8	0.21	0.030	8	0.35	0.29	0.76
BEL	40-50	5.3	3.8	6.7	1.17	0.77	22	0.17	0.024	8	0.28	0.24	0.63
	50-60	5.3	3.8	6.5	2.44	1.68	39	0.12	0.021	7	0.28	0.26	0.81
	60-70	5.5	3.8	5.5	8.3	3.40	68	0.12	0.024	6	0.3	0.27	1.02
	70-80	5.6	3.8	4.9	9.4	4.3	74	0.11	0.024	5	0.29	0.31	1.04
BT1	80-90	5.7	3.9	4.2	10.4	5.6	79	0.14	0.030	5	0.27	0.27	0.82
	90-110	5.8	4.0	3.7	11.5	5.9	82	0.13	0.021	7	0.28	0.26	1.1
BT2	110-125	6.0	4.1	3.4	12.0	6.1	84	0.14	0.025	7	0.23	0.24	1.07
BCg, t	125-140	5.7	4.1	3.1	12.1	6.2	86	0.13	0.025	6	0.22	0.22	0.88
	140-155	6.1	4.2	2.7	11.6	6.0	87	0.11	0.025	5	0.21	0.21	0.79
1-УК, Р-2-УК-13													
O (L)	0-2	5.7	4.8	42.9	34.8	10.9	52	45.7	1.8	30	н.о.		
O (F+H)	2-4	4.7	3.7	57.5	22.4	5.4	33	46.2	1.9	28			

ELhi	4-10	4.1	3.2	13.6	0.60	0.26	6	41.8	1.7	29	0.28	0.33	0.31
EL1	10-20	4.6	3.8	10.5	0.55	0.203	7	2.0	0.125	19	0.5	0.4	0.59
EL2	20-40	5.0	3.9	8.3	0.70	0.28	11	2.0	0.128	18	0.5	0.38	0.71
EL3	40-55	5.2	3.7	9.8	2.02	1.19	25	1.7	0.135	15	0.42	0.36	0.91
BEL	55-65	5.3	3.7	9.8	7.6	3.11	52	2.1	0.138	18	0.32	0.4	1.12
BT2	65-80	5.5	3.7	6.4	10.7	5.0	71	0.35	0.031	13	0.3	0.35	1.16
1УК, Р-3-УК-13													
O (L)	0-2	5.2	4.5	50.3	32.1	7.9	44	0.91	0.074	14	н.о.		
O (F)	2-4	4.8	4.0	60.2	25.0	5.1	33	0.29	0.033	10			
O(H)	4-6	4.1	3.1	88.2	10.8	2.50	13	0.29	0.038	9			
EL	6-10	3.9	3.1	14.9	0.63	0.32	6	45.9	2.2	24	0.3	0.34	0.4
ELhi	10-20	4.3	3.5	16.9	0.76	0.32	6	37.9	1.7	26	1.28	0.54	1.28
	10-20	4.2	3.4	17.3	0.82	0.39	7	1.9	0.120	18	1.12	0.44	1.25
ELf	20-30	4.5	3.6	16.9	0.73	0.31	6	1.01	0.051	23	1.22	0.7	1.36
	20-30	4.8	3.8	7.59	0.63	0.28	11	0.43	0.035	14	0.52	0.26	0.71
BELn	30-45	4.8	3.8	15.5	0.99	0.50	9	0.23	0.032	8	0.92	0.75	1.34
BT1	45-60	5.1	3.7	13.9	2.28	1.54	22	0.15	0.029	6	0.52	0.6	1.15
BT2	60-80	5.3	3.8	10.1	6.5	3.40	49	0.13	0.029	5	0.44	0.49	1.04
2УК, Р-4-УК-13													
O (L)	0-2(5)	5.0	4.3	42.9	30.5	9.3	48	35.7	1.28	33	н.о.		
O (F)	2(5)-7(8)	4.8	3.9	61.6	31.4	5.0	37	44.1	1.9	27			
O (H)	7(8)-12	4.4	3.3	72.1	19.4	3.51	24	40.4	1.43	33			
ELhi, g	12-17	4.0	3.3	17.3	0.88	0.38	7	2.2	0.117	22	0.57	0.24	0.61
ELg, f	17-25	4.8	3.8	10.3	0.89	0.41	11	0.60	0.040	18	0.88	0.44	0.93
	25-35	4.9	3.9	12.8	0.70	0.34	8	0.26	0.028	11	0.6	0.38	0.77
BEL1	35-40	4.9	3.8	9.0	1.20	0.74	18	0.32	0.036	10	0.5	0.49	0.89
	40-50	5.1	3.7	12.8	1.47	1.09	17	0.24	0.034	8	0.37	0.48	0.91

BEL2	50-60	5.2	3.8	10.8	1.91	1.49	24	0.20	0.032	7	0.34	0.43	0.93
	60-70	5.3	3.8	9.8	2.33	1.91	30	0.16	0.030	6	0.42	0.42	0.95
BT1	70-80	5.4	3.8	7.0	6.7	3.22	59	0.14	0.021	8	0.46	0.37	0.98
	80-87	5.6	3.8	5.7	8.3	4.5	69	0.13	0.021	7	0.46	0.32	1.03
BT2	87-97	5.7	3.9	5.0	9.4	5.2	74	0.16	0.027	7	0.5	0.33	1.04
	97-107	5.7	4.0	4.5	9.8	5.3	77	0.16	0.023	8	0.48	0.3	1.05
BT3	107-125	5.8	4.0	4.1	9.9	5.4	79	0.17	0.024	8	0.52	0.33	0.88
ЗУК, Р-5-УК-13													
O (L)	0-1	6.2	5.1	36.7	53	2.69	60	43.6	2.0	25	н.о.		
O (F)	1-4	5.3	4.3	53.8	26.1	5.6	37	35.3	1.8	23			
ELhi	4-8	4.5	3.3	16.2	0.63	0.34	6	1.62	0.115	16	0.78	0.34	0.89
ELn	8-21	4.8	3.8	9.6	0.64	0.30	9	0.40	0.046	10	0.54	0.29	0.81
EL	21-30	5.1	3.9	7.8	0.67	0.34	12	0.27	0.029	11	0.42	0.27	0.62
BEL	30-43	5.0	3.8	11.0	1.08	0.78	14	0.25	0.032	9	0.43	0.4	0.85
BT1	43-50	5.2	3.7	12.2	3.9	2.82	36	0.19	0.032	7	0.27	0.4	1.0
	50-60	5.2	3.7	10.5	5.4	3.90	47	0.15	0.027	6	0.26	0.37	1.01
	60-70	5.4	3.7	8.5	7.1	4.4	58	0.13	0.024	6	0.25	0.34	1.04
BT2	70-80	5.4	3.7	7.1	4.7	2.74	51	0.14	0.026	6	0.24	0.34	1.04
	80-90	5.4	3.7	5.7	9.4	6.1	73	0.14	0.028	6	0.27	0.34	1.04
	90-107	5.7	3.8	4.8	11.2	7.2	79	0.14	0.028	6	0.22	0.27	1.07
BT3	107-115	5.5	3.9	4.2	11.4	7.1	81	0.14	0.027	6	0.2	0.23	1.04

* Hг – гидролитическая кислотность; ** V – степень насыщенности основаниями; *** – дитиониторастворимые соединения железа.

н.о. – не определяли.

Приложение 1.3 – Гранулометрический состав почв (ельники черничные и производные от них леса).

Гор.	Глубина, см	Гигр. влага (в %)	Потеря при обработке (в %)	Размер механических элементов (мм) и их содержание (в %)						Сумма частиц < 0.01
				1-0.25	0.25-0.05	0.05-0.01	0.01-0.005	0.005-0.001	< 0.001	
1УК, Р-1-УК-13										
ELe	8-11	1.62	0.96	1	12	58	8	10	11	29
ELhi	11-14	2.61	1.71	7	25	41	9	5	13	27
EL	14-30	1.37	0.71	3	29	50	1	9	8	18
	30-40	1.11	0.71	1	37	44	2	8	8	18
BEL	40-50	1.27	0.28	0	31	52	0	7	10	17
	50-60	1.59	0.61	0	20	58	2	7	13	22
	60-70	2.88	0.67	0	13	58	1	5	24	30
	70-80	3.15	0.76	0	15	51	3	8	24	35
BT1	80-90	3.34	0.86	0	13	56	0	6	26	32
	90-110	3.26	1.04	0	10	53	5	5	28	38
BT2	110-125	3.26	0.97	0	8	54	1	7	30	38
BCg,t	125-140	3.18	0.99	0	10	52	4	8	26	38
	140-155	3.18	0.97	0	8	54	3	7	28	38
1УК, Р-2-УК-13										
ELhi	4-10	1.41	1.14	1	11	61	8	6	13	27
EL1	10-20	1.66	0.42	2	13	61	6	8	10	24
EL2	20-40	1.27	0.46	2	17	61	6	5	9	20
EL3	40-55	2.16	0.48	1	22	50	3	6	18	27
BEL	55-65	3.77	0.54	0	12	51	2	5	30	37
BT1	65-80	3.97	0.64	0	12	50	2	6	30	38
1УК, Р-3-УК-13										
EL	6-10	1.89	0.88	1	15	58	6	7	13	26
ELhi	10-20	2.63	1.10	6	15	55	6	7	11	24
	10-20	2.17	1.59	2	15	57	5	9	12	26
ELf	20-30	2.64	1.62	5	14	53	5	6	17	28

	20-30	2.44	1.35	3	16	50	8	7	16	31
BELn	30-45	2.88	1.33	1	10	52	6	9	22	37
BT1	45-60	3.14	0.82	1	11	48	7	7	26	40
BT2	60-80	3.27	0.79	1	9	48	6	9	27	42
2УК, Р-4-УК-13										
ELhi, g	12-17	2.05	1.38	1	22	49	7	8	13	28
ELg, f	17-35	1.67	0.61	2	15	58	6	7	12	25
	25-35	1.48	0.42	1	18	56	4	10	11	25
BEL1	35-40	2.14	1.04	0	15	50	8	8	19	35
	40-50	2.40	0.88	0	17	48	7	5	23	35
BEL2	50-60	2.31	0.76	0	16	51	6	6	21	33
	60-70	2.37	0.77	0	18	49	6	4	23	33
BT1	70-80	2.70	0.71	0	14	53	3	5	25	33
	80-87	2.77	0.56	0	18	49	5	4	24	33
BT2	87-97	3.02	0.99	0	12	51	6	2	29	37
	97-107	3.04	0.89	0	16	48	5	4	27	36
BT3	107-125	2.94	0.99	0	13	52	4	2	29	35
3УК, Р-5-УК-13										
ELhi	4-8	1.85	0.97	3	15	51	9	11	11	31
ELn	8-21	1.45	0.70	3	21	50	9	9	8	26
EL	21-30	1.19	0.19	1	20	56	9	8	6	23
BEL	30-43	2.51	0.04	1	14	57	4	9	15	28
BT1	43-50	2.99	0.72	0	14	49	5	6	26	37
	50-60	3.13	0.44	0	13	50	3	7	27	37

Приложение 1.4 – Физико-химические свойства почв (сосняки бруснично-зеленомошные и производные от них леса).

Горизонт	Глубина, см	pH		Hг*	Обменные катионы		V**	C	N	C:N	Оксалато-растворимые		Fe_2O_3 дит.***
					Ca^{2+}	Mg^{2+}					Fe_2O_3	Al_2O_3	
		водн.	сол.	смоль кг$^{-1}$ почвы			%				%		
1ПР													
O(F)	0-5	4.0	3.1	69.8	11.3	2.7	4.0	48.90	1.38	41	Н.о.		
O(H)	5-6	4.1	3.2	66.0	5.1	1.3	4.1	43.30	1.12	45			
Ehi	6-7(9)	3.9	3.3	14.3	2.2	0.1	3.9	20.80	0.4	61			
Eg	7-20	4.7	3.9	3.6	0.0	0.0	4.7	0.40	0.03	16	0.08	0.17	0.17
BFg	20-40	5.1	4.6	7.3	0.0	0.0	5.1	0.23	0.03	9	0.22	0.54	0.35
BDe, g	40-49	5.2	4.0	4.3	1.0	0.4	5.2	0.24	0.02	14	0.55	0.24	0.83
BD1g	49-85	5.3	3.8	8.6	4.5	1.6	5.3	0.14	0.02	8	1.11	0.49	1.41
BD2g	85-117	4.9	3.8	7.3	9.5	2.5	4.9	0.11	0.02	6	1.11	0.26	1.47
2ПР													
O(L)+Oч.	0-4	4.5	3.7	58.8	12.2	3.4	21	43.6	0.76	57	Н.о.		
O (F)	4-8	4.2	3.5	52.6	7.2	1.6	14	28.6	1.12	26			
O(H)	8-12	4.5	3.6	36.7	3.2	0.8	10	13.5	0.51	26			
Eg	12-15	4.8	3.8	4.7	0.5	0.2	13	0.46	0.034	14	0.22	0.05	0.57
BFg, n	15-20	4.7	3.8	7.9	0.7	0.3	11	0.64	0.039	16	0.25	0.22	2.50
	20-26(30)	5.1	4.0	7.9	0.8	0.3	12	0.84	0.045	19	1.16	0.40	3.73
BGn	26(30)-40	5.4	4.4	3.7	0.2	0.1	7	0.51	0.039	13	0.07	0.68	1.08
BDeg	40-45	5.4	4.3	4.2	0.4	0.1	11	0.38	0.031	12	0.17	0.35	0.90
BD1g	45-63	5.3	4.1	4.4	0.6	0.2	15	0.19	0.03	6	0.14	0.19	0.53
3ПР													

Очес		4.4	3.6	53.8	19.4	7.0	33	42.1	1.16	42	Н.о.		
O (F)	0-7	4.6	3.3	72.4	10.7	3.1	16	48.50	1.16	49			
O(H)	7-9	4.5	3.4	47.0	5.1	1.3	12	28.00	0.53	62			
Ehi	9-12	5.0	3.4	3.7	1.0	0.2	24	5.70	0.3	22			
Eg	12-30	4.5	3.4	4.7	0.0	0.0	0	0.34	0.047	8	0.99	0.33	1.15
BFg	30-51	5.7	4.2	4.7	0.1	0.0	2	0.21	0.047	5	0.66	0.38	0.66
BDe, g	51-65	5.6	4.6	5.0	0.0	0.0	0	0.19	0.022	10	0.68	0.13	0.93
BD1g	65-87	5.2	4.3	3.8	0.5	0.4	19	0.13	0.025	6	0.36	0.19	0.46
BD2g	87-↓	5.2	4.0	5.6	2.5	1.3	40	0.13	0.021	7	0.62	0.33	1.17

Приложение 1.5 – Гранулометрический состав почв (сосняки бруснично-зеленомошные и производные от них леса).

Горизонт	Глубина, см	Потеря от обработки 0.05 н. HCl, %	Размер фракций, мм						Сумма фракций < 0.01 мм
			1.0-0.25	0.25-0.05	0.05-0.01	0.01-0.005	0.005-0.001	< 0.001	
1ПР Контрольный участок (Р-1-2002)									
Eg	7-20	0.3	49	37	6	2	4	2	8
BFg	20-40	0.7	58	30	6	1	2	3	6
BDe, g	40-49	0.5	24	38	15	6	8	9	23
BD1g	49-85	0.5	23	35	15	5	8	14	27
BD2g	85-117	0.7	22	32	15	3	8	20	31
2ПР 10-летний березняк (Р-1-2004)									
Eg	12- 15	1.00	29	56	5	3	3	5	11
BFg, n	15 - 20	4.90	20	56	8	3	5	9	17
BGn	20-26(30)	6.10	22	53	6	3	6	10	19
	26(30) - 40	3.90	23	58	6	2	5	6	13
BDeg	36(39) - 45	2.40	20	60	4	5	5	6	16
BD1g	45 -63	2.20	14	51	13	8	9	5	23
3ПР 20-летний березняк (Р-3-2002)									
Eg	12-30	0.56	52	34	5	2	2	5	9
BHFg	30-51	0.49	47	31	11	5	3	3	11
BDe, g	51-65	0.51	33	32	14	5	8	8	21
BD1g	65-87	0.64	30	35	10	3	5	17	25

Приложение 1.6 – Физико-химические свойства механически нарушенных почв

Горизонт	Глубина, см	pH		Hг*	Обменные катионы		V**	C	N	C:N	Fe_2O_{3ox}	Al_2O_{3ox}	Fe_2O_{3d}
					Ca^{2+}	Mg^{2+}							
		водн.	сол.	смоль 100 $^{-1}$ гг почвы			%				%		
1T_разр. 28-15, Турбозем детритный (2 года)													
TUR1cwd	0-10	4.4	3.7	9.8	2.88	0.91	28	3.0	0.125	28	0.578	0.376	0.727
TUR2cwd	10-20	4.4	3.7	8.4	2.45	0.54	26	3.0	0.132	27	0.225	0.587	0.570
BG	20-40	4.8	3.9	4.2	0.34	0.23	12	0.33	<0.03	-	0.350	0.214	0.488
BT	40-65	5.2	3.4	7.4	8.87	4.12	64	0.15	0.031	6	0.569	0.625	1.616
2T_разр. 2-2002, Турбозем детритный (8 лет)													
TUR1	0-4	5.1	4.0	2.2	1.1	0.3	39	2.83	н.о.		0.52	0.31	0.66
	4-10	5.2	4.2	1.1	0.4	0.1	33	0.94			0.40	0.22	0.62
	10-23	5.4	4.2	1.0	0.4	0.0	29	0.83			0.40	0.15	0.54
[CWD/O]	23-26	5.0	4.0	7.3	4.0	0.6	39	19.70			Н.о.		
TUR2g	26-43	5.4	4.2	1.1	0.7	0.2	44	0.20			0.46	0.19	0.73
BD1g	43-54	5.4	4.0	1.5	3.1	1.1	74	0.12			0.59	0.28	1.05
BD2g	54-77	5.6	4.1	0.5	1.7	0.6	82	0.08			0.33	0.11	0.61
3T_разр. 4- 2002, Турбозем детритный (8 лет)													
TUR1	0-5	6.8	5.2	0.6	5.1	0.6	90	2.08	н.о		0.36	0.16	0.52
	5-10	5.9	4.3	1.4	3.0	0.4	70	2.14			0.45	0.20	0.53
TUR2	10-30	5.1	4.0	2.1	2.0	0.2	52	2.62			0.38	0.25	0.50
	30-40	5.0	3.9	1.7	2.9	0.3	66	4.33			0.38	0.23	0.50
[CWD/O]	30-40	4.8	3.8	15.3	15.3	1.0	52	30.60			Н.о.		
TUR3	40-50	5.8	4.5	1.0	0.5	0.1	37	0.34			0.49	0.23	0.65
	50-60	5.7	4.5	0.7	0.3	0.1	35	0.25			0.32	0.23	0.50
BD1	60-70	5.6	4.4	0.8	0.3	0.0	26	0.21			0.40	0.21	0.63
	70-80	5.5	4.3	0.7	0.3	0.1	34	0.15			0.15	0.11	0.39
4T_разр. 26-2015, Турбозем детритный (19 лет)													
AY/O(L)	0-2	5.9	5.3	17.9	19.11	3.75	56	13.1	0.52	29			

TUR1	2-10	5.3	4.6	3.82	4.96	0.70	60	2.2	0.132	19	0.426	0.156	0.473
TUR2	10-20	4.9	4.0	4.23	2.05	0.53	38	1.63	0.084	23	0.267	0.142	0.370
[CWD / O]	20-40	4.6	4.0	4.92	1.80	0.44	31	3.1	0.131	28	0.252	0.111	0.336
Bg, fe	40-50	4.9	3.7	5.25	2.17	0.76	36	<0.15	<0.03	-	-	-	-
Bg	40-70	4.7	3.5	5.97	4.34	1.24	48	<0.15	<0.030	-	0.745	0.365	1.235
Bt, g	70-100	5.3	3.8	3.56	6.28	1.38	68	-	-	-	0.587	0.296	1.567
5Т разр. 5-15. Турбозем детритный на техногенных отложениях (33 года)													
O	0-1	5.4	4.2	42.0	47.4	9.5	58	34.1	1.58	25	0.13	0.083	0.28
TUR1cwd	1-13	5.3	4.0	9.0	1.7	0.4	19	1.44	0.101	17	0.473	0.33	0.92
TUR2g, cwd	13-25	5.2	4.0	9.2	2.0	0.4	20	1.21	0.092	15	0.67	0.35	0.95
TUR3g	25-60	5.0	3.9	15.5	1.0	0.3	8	0.44	0.046	11	0.423	0.72	1.26
TUR3/[O+CWD]	25-60	5.2	4.1	7.0	0.6	0.1	9	0.32	0.034	11	0.519	0.40	0.84
BCtch	60-140	5.5	4.3	3.6	1.0	0.2	26	0.17	< 0.03	-	0.13	0.14	1.08
6Т_разр. 6-1-2015. Турбозем детритный на техногенных отложениях (33 года)													
O	0-2	5.6	4.4	39.3	56.3	7.1	62	29.4	1.44	24	0.19	0.13	0.35
TUR1	2-10	5.1	3.9	10.1	2.3	0.5	22	1.47	0.104	16	0.528	0.33	0.85
TUR2	10-20	5.5	4.2	8.3	1.7	0.3	19	0.95	0.077	14	0.78	0.81	1.12
TUR3	20-32	5.6	4.4	5.9	1.5	0.2	22	0.44	0.042	12	0.451	0.63	0.81
BC1tch	32-50	5.7	4.5	6.0	3.1	0.5	38	0.27	< 0.03	-	0.31	0.17	0.79
BC2tch	50-80	5.6	4.2	7.1	1.3	0.4	19	0.25	< 0.03	-	0.13	0.17	0.64
C tch	80-100	5.5	4.2	4.4	0.7	0.2	16	< 0.15	< 0.03	-	0.082	0.031	0.56
6Т_разр. 6-2-2015 Турбозем детритный (33 года)													
O	0-2	5.8	4.8	38.4	64.0	10.0	66	35.9	1.54	27.3	0.03	0.020	0.25
TUR	2-17	5.3	3.9	10.5	1.9	0.4	18	1.04	0.082	14.8	0.27	0.533	0.89
[O]	17-20	5.3	4.1	39.3	10.0	1.2	22	12.8	0.46	32.6	0.27	0.433	0.64
[EL]	20-25	5.1	3.6	4.1	0.9	0.2	21	0.26	0.030	10.1	0.072	0.020	0.25
[BF]	25-35	5.4	4.2	6.7	1.9	0.3	25	0.36	0.034	12.4	0.29	0.444	1.10
BC	35-60	5.5	4.3	7.1	1.7	0.4	22	0.32	0.031	12.1	0.429	0.22	0.97
C пес.	60-110	5.6	4.5	2.5	0.7	0.2	27	< 0.15	< 0.03	-	0.050	0.15	0.55
C суп.	60-100	5.9	4.2	5.6	1.3	0.2	22	0.22	< 0.03	-	0.084	0.28	0.84

7T_разр. 7-15, Турбозем детритный (45 лет)													
O(L)	0-1.5	5.8	5.5	25.0	41.99	13.75	69	45.2	1.8	29			
O(F+H)	1.5-3	4.9	4.5	38.4	31.71	9.49	52	29.3	1.63	21	0.297	0.364	0.368
TUR	3-17	4.4	3.8	7.59	0.74	0.39	13	0.84	0.065	15	0.407	0.344	0.546
EL	17-40	5.3	3.8	3.96	0.92	0.74	30	<0.15	<0.030	-	0.299	0.230	0.534
BEL	40-60	5.0	3.6	5.48	8.50	5.56	72	0.16	<0.030	-	0.421	0.541	1.062

Примечания: Нг – гидролитическая кислотность; прочерк – не определяли; < 0.15 для определения углерода и < 0.03 для определения азота – ниже предела определения прибора.

Приложение 1.7 – Гранулометрический состав турбоземов волоков и лесопогрузочных площадок.

Разрез	**Горизонт**	**Глубина, см**	**Потеря от обработки HCl, в %**	**Размер фракций (мм)**						**Сумма фракций < 0.01 мм**
				1-0.25	**0.25-0.05**	**0.05-0.01**	**0.01-0.005**	**0.005-0.001**	**< 0.001**	
1Т_Р. 28-15, 2 года	TUR1	0-10	0.60	30	24	20	7	9	10	26
	TUR2	10-20	0.04	34	25	19	5	8	9	22
	Bg	20-40	0.60	32	27	21	5	9	6	20
	BT	40-65	0.35	3	13	31	11	12	30	53
2Т_Р-2-2002, 8 лет	TUR 1	0-4	0.68	3	32	13	1	11	8	20
		4-10	0.38	46	35	9	1	5	4	10
		10-26	0.49	48	35	7	3	3	4	10
	TUR2	26-43	0.38	20	33	21	9	11	6	26
	BD1g	43-54	0.49	28	36	11	3	6	16	25
	BD2g	54-70	0.17	46	38	6	1	3	6	10
3Т_Р-4-2002, 8 лет	TUR1	0-5	0.84	52	28	7	3	3	7	13
		5-10	0.48	42	35	7	5	6	5	16
	TUR2	20-30	0.97	44	31	10	3	4	8	15
		30-40	1.00	46	28	10	4	4	8	16
	TUR3	40-50	0.82	49	31	10	3	2	5	10
		50-60	0.55	45	35	9	2	5	4	11
	BD1	60-70	0.34	44	36	10	2	5	3	10
		70-80	0.10	37	41	12	1	5	4	10
4Т_Р. 26-15, 19 лет	TUR1	2-10	0.40	53	23	10	3	2	9	14
	TUR2	10-20	0.27	44	31	12	2	5	6	13
	[CWD / O]	20-40	0.53	53	27	7	2	4	7	13
	Bg, fe	40-50	0.41	21	27	20	5	6	21	32
	Bt, g	40-70	0.03	22	34	14	2	8	20	30

5T_P. 5-2015, 33 года	TUR1cwd	1-13	0.6	36	19	24	4	3	14	21
	TUR2g, cwd	13-25	0.8	27	18	28	8	7	12	27
	TUR3g	25-60	0.9	12	7	39	5	11	26	41
	TUR3/ [O+CWD]	25-60	0.7	14	46	15	10	8	7	25
	BCtch	60-140	0.3	79	12	3	1	0	5	6
6T_P. 6-1-2015, 33 года	TUR1	2-10	0.5	30	22	25	6	4	13	23
	TUR2	10-20	1.0	19	14	38	8	9	12	29
	TUR3	20-32	0.7	30	23	25	7	4	11	22
	BC1tch	32-50	0.9	50	25	8	4	2	11	17
	BC2tch	50-80	0.5	55	26	4	3	1	11	15
	Ctch	80-100	0.1	54	34	6	1	1	4	6
P. 6-2-2015, 33 года	TUR	2-17	0.6	30	20	24	8	7	11	26
	[O]	17-20	1.6	36	19	22	8	6	9	23
	[EL]	20-25	3.2	38	22	24	6	4	6	16
	[BF]	25-35	0.6	58	23	4	1	0	14	15
	BC	35-60	0.7	55	23	4	3	1	14	18
	C пес.	60-110	0.2	66	29	1	1	0	3	4
	C суп.	60-110	0.2	69	19	1	1	0	10	11
7T_P-7-15, 45 лет	TUR	3-17	0.60	7	5	63	6	6	13	25
	EL	17-40	0.26	1	9	68	7	7	8	22
	BEL	40-60	0.67	0	8	51	3	5	33	41

Приложение 1.8 – Содержание водорастворимых форм соединений углерода и азота в почвах вырубок*

Разрез	Горизонт	Глубина, см	Свс	Свос	Nвс
			мг/г		
1УК	валежина		2.1±0.4 / 0.38	2.1±0.4 / 0.38	0.042±0.0004 / 1.4
	O (L)	0-3	24±5 / 5.4	24±5 / 5.4	0.98±0.10 / 6.0
	O (F)	3-6	8.8±1.8 / 2.0	8.8±1.8 / 2.0	0.55±0.06 / 3.0
	O (H)	6-8	1.6±0.3 / 0.4	7.9±1.6 / 2.2	0.40±0.04 / 2.5
	ELe	8-11	3.0±0.7 / 13.6	0.61±0.12 / 2.8	0.033±0.0026 / 2.2
	ELhi	11-14	0.80±0.16 / 2.5	0.80±0.16 / 2.5	0.03±0.003 / 1.4
	EL1	14-30	0.14±0.027 / 3.4	0.140±0.027 / 3.4	0.01±0.0005 / 2.2
		30-40	0.07±0.014 / 3.3	0.071±0.014 / 3.4	0.0042±0.0004 / 1.4
2УК	O (L)	0-2(5)	24±5 / 6.7	24±5 / 6.7	0.9±0.1 / 7.0
	O (F)	2(5)-7(8)	7.3±1.5 / 1.7	7.26±1.45 / 1.6	0.47±0.05 / 2.5
	O (H)	7(8)-12	5.9±1.2 / 1.5	5.91±1.18 / 1.5	0.38±0.04 / 2.7
	ELhi, g	12-17	0.84±0.17 / 3.8	0.84±0.17 / 3.8	0.031±0.003 / 2.7
	ELg, f	17-25	0.10±0.02 / 1.7	0.10±0.02 / 1.7	0.0045±0.0005 / 1.1
		25-35	0.09±0.017 / 3.5	0.091±0.017 / 3.5	0.0033±0.0003 / 1.2
	BEL1	35-40	0.14±0.03 / 4.4	0.14±0.028 / 4.4	0.0033±0.0003 / 0.9
3УК	O(L)	0-1	13.9±2.7 / 3.2	13.9±2.8 / 3.2	1.112±0.011 / 5.6
	O(F)	1-4	8.8±1.8 / 2.5	8.8±1.8 / 2.5	0.74±0.07 / 4.1
	ELhi	4-8	0.41±0.08 / 2.5	0.41±0.08 / 2.5	0.02±0.0025 / 1.7
	ELn, t	8-20	0.11±0.02 / 2.75	0.11±0.02 / 2.7	0.03±0.0026 / 6.5
	ELt	20-30	0.06±0.012 / 2.2	0.06±0.012 / 2.2	0.0033±0.0003 / 1.1
1Т. разр. 28-15	TUR1cwd	0-10	0.44±0.1 / 1.5	0.44±0.09 / 1.5	0.0143±0.0015 / 1.1

	TUR2cwd	10-20	0.40±0.08 1.3	0.39±0.08 1.3	0.0136±0.0014 1.0
	Bg	20-40(45)	0.10±0.019 3.0	0.096±0.019 2.9	0.0045±0.0005 -
	BT	40(45)-65	0.06±0.012 4.0	0.058±0.012 3.9	0.0051±0.0005 1.6
4T. разр. 26-15	AY/O(L)	0-2	3.90±0.8 3.0	3.9±0.8 3.0	0.39±0.04 7.5
	TUR1cwd	2-10	0.46±0.1 2.1	0.5±0.1 2.3	0.0261±0.0027 2.0
	TUR2cwd, g, d	10-20	0.49±0.01 3.0	0.5±0.1 3.0	0.0195±0.0020 2.3
	[CWD/O]	20-40	0.28±0.06 0.9	0.28±0.06 0.9	0.0104±0.0011 0.8
	Bg, fe	40-50	0.06±0.013 -	0.06±0.013 -	0.0052±0.0005 -
7T. разр. 7-15	O(L)	0-1.5	9.84±2.0 2.2	9.8±2.0 2.2	0.92±0.09 5.1
	O(F+H)	1.5-3	8.36±1.7 2.9	8.3±1.7 2.8	0.68±0.07 4.2
	TUR	3-17	0.15±0.03 1.8	0.15±0.03 1.8	0.0083±0.0008 1.3
	EL	17-40	0.03±0.007 -	0.033±0.007 -	Н.о.
	BEL	40-60	0.03±0.006 1.9	0.029±0.006 1.8	Н.о.

Н.о. – не обнаружено. * – в числителе абсолютное значение, в знаменателе – доля от общего углерода.

Приложение 2

Приложение 2.1 Морфологические описания постпирогенных почв.

1L (Р-16-13). Сыктывдинский район РК. Нювчимское лесничество. Квартал 192. Сосняк лишайниковый. Координаты: 61°21´30,5´´с.ш., 50°51´05,2´´в.д.. В 300 м от гари (3L). Разрез заложен на выровненном участке. В напочвенном покрове преобладают лишайники: кладония оленья, кладония лесная, кладония звездчатая, кладония красноплодная, цетрария исландская, дикран многоножковый, дикранум стриктум, плевроциум Шребера, единично плаун приплюснутый, кукушкин лен.

Описание почвенного профиля:

Горизонт	Глубина, см / мощность, см	Морфологическое описание
O(L)	0-1 / 1	Сухой, живой очес лишайников, хвоя, ветви, шишки сосны.
O(F+H)	1-3 / 2	Более влажный, чем предыдущий, бурый, слабо- и среднеразложившиеся растительные остатки, уплотнен, густо переплетен корнями сосны и гифами грибов.
E	3-13 / 10	Свежий, окраска неоднородная (10YR7/1), песок, бесструктурный, рыхлый, есть углистые остатки (~5%) размером меньше 1 мм, расположенные равномерно по всему объему горизонта, много древесных корней различного размера, мелкая галька, граница волнистая, переход ясный по окраске.
BF	13-45 / 32	Бурый(10 YR 6/8), сухой песок, бесструктурный, самый плотный в профиле, галька размером менее 1 см, её доля

		постепенно увеличивается с глубиной, углистых остатков нет, переход постепенный по изменению механического состава.
BC	45-65 / 20	Окраска неоднородная, связана с обилием крупных фракции и гальки (10 YR 6/6). Возрастает количество гальки (до 10-15% по объему), более рыхлый песок, по сравнению с BF, в остальном схож с ним. Граница ровная, переход заметный по изменению механического состава.
C1	65 – 110 / 45	10 YR 7/6. Представляет чередование слоев, различных по механическому составу (мощностью ~3 см). Есть слои, с большим содержанием крупной гальки, камней. Прослойки с крупным песком – 10 YR 8/2. Вплоть до данного горизонта встречаются железистые стяжения (10 YR 2/3).
C2	110 – 130 / 20	Свежий, однородный песок, без гальки. Под слоем вышележащего горизонта с большим содержанием гальки на расстоянии нескольких сантиметров располагается тонкая горизонтальная прослойка ожелезнения мощностью 1-2 см, простирающаяся по всей стенке разреза.

Почва: подзол иллювиально-железистый.

2L (P-29-14). Усть–Вымский район РК, гарь 2013 года (на момент отбора образцов 1 год). Координаты: 62°07'26,6" с.ш., 50°32'54,4" в.д.. Сосняк разновозрастный, 1 год с момента пожара, крупный древостой не поврежден. Нагар на стволах деревьев до высоты 3-4 метра. Разрез заложен в 50 см от ствола крупной сосны. Напочвенный покров практически полностью отсутствует.

Описание почвенного профиля:

Горизонт	Глубина, см / мощность, см	Морфологическое описание
Qpyr	0-3 / 3	Хвоя сосны, ветви, шишки, не полностью сгоревшие древесные остатки, угли, зола, свежий, мажущий.
Epyr	3-10 / 7	10YR4/1, неоднородная окраска, серый, бесструктурный, песчаный, пронизан корнями, прокрашен органикой, языки (левая стенка) до 15-20 см., переход ясный по цвету, граница волнистая.
BF1	10-30 / 20	Бурый, неоднородный, встречаются прослойки суглинка и супеси, 10YR5/6, единичны темно – черные стяжения. Переход постепенный по уменьшению интенсивности окраски.
BF2	30-50 / 20	2,5Y6/8, схож с BF_1, единичные корни, переход постепенный по уменьшению интенсивности окраски.

BC	50-70 / 20	10YR6/8, светло–желтый, бесструктурный, валунов нет! Механический состав неоднородный, встречаются прослойки суглинка.

Почва: подзол пирогенный иллювиально-железистый.

3L (P-15-13). Сыктывдинский район. Нювчимское лесничество. Квартал 192. Гарь 2011 года. Координаты: 61°21'31,6" с.ш., 50°50'42,7" в.д.. Правый берег р. Нювчим, приблизительно на расстоянии 500 м от реки. Выровненный участок. Разрез заложен в парцелле сосны. Микрорельеф практически не выражен. В скором времени участок должен быть пущен в санитарную рубку. Идет очень слабое возобновление. Есть злаки – Вейник (Calamagróstis sp.), также присутствует иван-чай (Chamerion sp.). Растительный покров занимает площадь ~5%. Единичные всходы сосны.

Описание почвенного профиля:

Горизонт	Глубина, см / мощность, см	Морфологическое описание
Qpyr	0.5-6(12) / 6(12)	На поверхности горизонта много сухой хвои (1-5 мм), отпавшей после пожара (O(L)). Много темных углистых включений, сконцентрированных на поверхности минерального горизонта. Окраска неоднородная в зависимости от пропитки пирогенным органическим веществом. Сухой, углистые остатки в минеральной части (размером до 2 мм) располагаются равномерно, их

		содержание постепенно падает с глубиной. Много корней (сосны) диаметром до 5 мм. Менее плотный, чем горизонт BF. Бесструктурный, рассыпчатый. Единично встречается галька до 2 мм диаметром. Граница волнистая, переход ясный по окраске.
E	6(12)-15 / 9	Выделается фрагментарно, в зависимости от прокраски органическим веществом вышележащего горизонта. Сухой, окраска однородная (7.5 YR 7/2). Приурочен к наибольшим скоплениям корней. Оподзоленные языки проникают ~ до глубины 60 см. Их ширина 5-7 см. Под ними наблюдается наибольшее скопление железистых стяжений, наиболее ярких пятен ожелезнения. Песок, бесструктурный, единично встречается галька до 5 мм. Редкие корни (сосна) диаметром до 1 мм, и единичные крупные. Граница языковатая, переход ясный по окраске.
BF	15-40 / 25	Окраска неоднородная. Преобладает ржавый цвет (7.5 YR 5/8), но фрагментарно встречаются более гумусированные участки (BHF, 7.5 YR 4/4). Наиболее плотный в профиле. Песок, бесструктурный. Свежий. Встречается мелкая галька, крупные корни сосны. Единично встречаются крупные окатанные камни диаметром до 2 см. В нижней части оподзоленных языков на ржавом фоне выделяются скопления Fe-Mn новообразований (темные, почти черные, около 1 мм диаметром, сферической формы). Гнездами встречаются пятна ожелезнения (преобладают размером 1 см, но есть и больше) и железистые стяжения в них. Переход постепенный по окраске и плотности.
BC1	40-60 / 20	Дифференцирован на 2 части по проникновению языков подзолистого горизонта. В остальном – совпадают.
BC2	60-90 / 30	Сухой, окраска неоднородная (2.5 Y 7/6) за счет неоднородности механического состава (большое количество крупного песка и мелкой гальки). Менее плотный, чем гор. BF, песок, бесструктурный. Железистые новообразования занимаются около 20 % по площади. Корней нет. Переход постепенный по изменению механического состава.
C	90 – 130 / 40	Горизонт выделен по появившейся литологической неоднородности слоя. Представляет собой песчаный слой (10YR7/4), на котором встречаются линзы материала округлой формы более тяжелого механического состава (10YR6/4), занимающие ~15-20% от V горизонта. Доля гальки, окатанной породы ~5-10%. Свежий, суглинистые линзы более влажные на ощупь. По плотности аналогичен гор. BC. В линзах встречаются корни сосны диаметром до 1-2 мм. Сцементирован в местах распространения железистых стяжений.

Почва: подзол пирогенный иллювиально-железистый.

4L (P. 18-13). Усть-Вымский район РК. Заказник «Белый». Пожар 2003 года (10 лет на момент исследования). Координаты: 62°06'17.4" с.ш., 50°26'10.4" в.д.. Сосняк лишайниковый. Общая сомкнутость древесного яруса 0,6. Состав 10С. Сомкнутость первого древесного полога 0.3, высота 12-16, диаметр 23-27 см. Второй полог также достаточно сомкнут (0.3), высота 6-10 м, диаметр стволов 10-14 см. Подрост сосны достигает высоты 4-5 м. Подлесок отсутствует. ОПП травяно-кустарничкового яруса 5-10 %. До 50 % покрытия яруса приходится на бруснику (Vaccinium vitis-idaea), кустарнички которой, вероятно, сохранились при пожаре. В равных долях, но с меньшим обилием представлены *Deschampsia cespitosa* и *Diphasiastrum complanatum*, которые типичны для послепожарных сосняков на песчаных почвах. ОПП напочвенного покрова 20-30 %. На лишайники приходится более 60%. Преобладает *Cladonia arbuscula*. Менее обильны, но многочисленны такие отличные от типичных доминантов сосняков-беломошников виды Кладоний, как *Cladonia crispata*, *C. cornuta*, *C. gracilis*, *C. sulphurina*, *C. botrites*. В более влажных участках микрорельефа формируются подушки *Dicranum scoparium* и *Polytrichum peliferum*. Стоит отметить, что сохранившийся подрост и преобладание брусники свидетельствуют о невысокой интенсивности пожара.

Описание почвенного профиля:

Горизонт	Глубина, см / мощность, см	Морфологическое описание
O(L)	0-1	Опад сосны, ветви, шишки, единично остатки брусники,

	1	лишайников, зеленых мхов.
Qpyr	1-3 2	Серый (2.5Y6/1), песок. Много углистых включений. В верхней части идет прослойками горизонт нижней части подстилки с высокой долей углистых включений. Доля углистых включений до 30 %. Достаточно много корней. Граница волнистая, переход ясный по окраске.
E	3-7 4	Белесый (2.5Y7/3), песок. Бесструктурный. Пронизан корнями. Сухой. Наиболее светлый в профиле. Переход ясный по цвету, граница ровная.
BF	7-20 13	Бурый, ржавый (7.5YR5/6) песок. Бесструктурный. Пронизан корнями. Сухой. В верхней части углистые включения. Наиболее интенсивно прокрашен иллювиальным органическим веществом. Переход постепенный по окраске и плотности.
BC1	20-39 19	Желтый (10YR6/6) песок, свежий. Бесструктурный. Пронизан мелкими сосущими корнями. Переход заметный по возрастанию примазок и супесчаных натеков. Граница ровная.
BC2	39-55 16	Желто-бурый (10YR5/6), рыхлый, бесструктурный песок. Сухой. Встречаются прослойки бурой супеси. Появляются темные примазки и угольки. Редкие единичные корни. Переход постепенный, граница ровная.
C	55–100 45	Желтый (2.5Y6/6), рыхлый, бесструктурный песок. Свежий. Встречаются прослойки бурой супеси.

Почва: подзол пирогенный иллювиально-железистый.

5L (P.17.13). Усть-Вымский район РК. Заказник «Белый». Пожар 1997 года (16 лет на момент проведения исследований). Координаты 62°07'26.7" с.ш.., 50°26'52.1" в.д. Общая сомкнутость древостоя 0.5-0.6. Состав 10 С. В вертикальной структуре древесного яруса выделяется два полога. Основным является первый полог – сомкнутость 0,5, высота деревьев 14-17 м, диаметр 24-28 см. Второй полог слабосомкнут (0,1), сложен деревьями сосны высотой 6-12 м, диаметром 7-11 см. На площади присутствует единичный валёж.

Нижние ярусы растительности были полностью уничтожены пожаром и на момент исследований (2013 год) только начали восстанавливаться. Подроста нет. Подлесок отсутствует. Общее проективное покрытие (ОПП) травяно-кустарничкового яруса не превышает 3%. Отмечено три вида сосудистых растений: *Empetrum hermaphroditum* и *Vaccinium myrtillus* (единичные кустарнички, сохранившиеся во время пожара), а также *Deschampsia cespitosa* – доминирующий в сообществе злак. Мохово-лишайниковый ярус восстанавливается более успешно и к 2013 году уже сформирован в достаточной степени – ОПП достигает 80%. По сравнению с фоновыми сообществами состав яруса претерпел значительные изменения. Так, 35-

40 % достигает относительное покрытие Polytrichum peliferum. На долю лишайников приходится около 60 % покрытия напочвенного покрова. Наиболее обильными представителями являются Cladonia crispata, C. cornuta и C. arbuscula. Лишь последний вид из перечисленных является типичным для фонового участка и сохраняет свою роль на постпирогенном участке. Два других доминанта лишайниковых боров, фоновых для исследуемого участка (Cladonia stellaris и C. rangiferina), на данной стадии сукцессии не встречаются.

Описание почвенного профиля:

Горизонт	Глубина, см / мощность, см	Морфологическое описание
O(L)	0-1 / 1	Опад сосны, ветви, шишки, единично остатки брусники, лишайников, зеленых мхов перемешанных с пирогенными остатками.
Qpyr	1-3 / 2	Серый (5Y5/1) песок. Много углистых включений, до 3-5 %. Пронизан корнями. Сухой, Граница ровная, переход ясный по окраске.
E	3-8 / 5	Белесый, до светло-серого (2.5Y8/1), песок. Бесструктурный, рыхлый. Пронизан корнями. Сухой. Наиболее светлый в профиле. Переход ясный по цвету, граница ровная.
BF	8-25 / 17	Ржаво-бурый (7.5YR5/6) песок. Бесструктурный. Пронизан корнями сосны. Сухой. В верхней части углистые включения. Наиболее интенсивно прокрашен иллювиальным органическим веществом. Переход постепенный по окраске, граница ровная.
BCn, pyr	25-47	Желтый (2.5YR5/6) с гнездами до 10YR5/6. Песок,

	22	свежий. Бесструктурный. Встречаются темные железо-марганцевые стяжения, в единичных случаях образуют гнезда. Переуплотнен. Старые углистые включения (от предыдущих пожаров). Переход постепенный, граница ровная.
BC	47-75 / 27	Светло-желтый (2.5Y7/3) песок, Неоднородно окрашен. Встречаются ржавые натеки и зоны ожелезнения. Свежий, бесструктурный. Переход постепенный по возрастанию доли горизонтальных прослоек. Переход ясный, граница ровная. Желто-бурый (10YR5/6), рыхлый, бесструктурный песок. Сухой. Встречаются прослойки бурой супеси. Появляются темные примазки и угольки. Редкие единичные корни. Переход постепенный, граница ровная.
C	75–110 / 35	Желтый (2.5Y7/6), рыхлый, бесструктурный песок. Свежий. Встречаются прослойки бурой супеси. Наиболее плотный в профиле.

Почва: подзол иллювиально-железистый пирогенный.

1ВМ (Р-70-11). Сосняк кустарничково-зеленомошный, заказник «Корабельная чаща». Координаты разреза 62° 35' 14,1" с.ш., 47° 16' 10,1" в.д., высота 122 метра над уровнем моря. Центральная часть 60 квартала, Междуреченского лесничества. Левый берег реки Поч, в трех километрах от реки. Микрорельеф слабо выражен. Много вывалов, упавших деревьев и сухостоя. В первом ярусе сосна. Разрез под кроной сосны, в 1,5-2,0 метрах от ствола. В подросте ель, береза. В напочвенном покрове брусника, черника, вейник, зеленые мхи, лишайники, кладония.

Описание почвенного профиля:

Горизонт	Глубина, см / мощность, см	Морфологическое описание
O(L)	0-3 3	Остатки мхов и растительного опада. Хвоя, шишки, лишайники, остатки кустарничков.
O(F+H)	3-5 2	Темно-бурый, войлокообразный, сухой, слаборазложившийся. Угли. Пронизан корнями. Желтые гифы грибов (пилодерма). Остатки органического материала. Переход ясный по цвету, граница волнистая.
E	5-25 20	Белесый рыхлый песок (10YR8/1). Сухой. Бесструктурный. Пронизан корнями. Единичная окатанная галька и валуны. Единичные угли, пропитки гумусом нет. Переход ясный, граница волнистая.
BF	25-60 35	Желтовато-бурый (10YR6/8), супесчаный с примесью легкого суглинка в нижней части. Уплотнен – наиболее плотный в профиле. Пористый. Много окатанной гальки. Единичные корни в нижней части. Плитчато-крупно-глыбистый. В верхней части встречаются линзы с темно-серыми плотными конкрециями. Переход постепенный, граница ровная.
BC	60-80 20	Желтый песок (10YR7/6) крупнозернистый. Рыхлый. Свежий. В верхней части на границе с горизонтом BF горизонтальные прослойки суглинистого темного бурого материала. Переход ясный, граница ровная.
C	80-110 30	Желтовато-бурый (10YR6/4) песок. Рыхлый. Бесструктурный. Свежий. Единичные суглинистые прослойки. Много окатанной гальки около 3-5 %.

Почва: подзол иллювиально-железистый на флювиогляциальных песчаных и супесчаных отложениях.

2ВМ (Р-72-11). Удорский р-н, РК. Участок горельника располагается на водоразделе рек Поч и Оса. Координаты – 62°29' с.ш., 47°30' в.д., высота 160 м. над ур. м. Сосняк кустарничково-зеленомошный, пройденный пожаром 4–го июля 2011 года (50 дней после пожара). Тип пожара – низовой, причина возгорания – гроза. Пожаром затронуто около одной тыс. га. В ходе пожара произошло полное уничтожение напочвенного покрова. Подлесок и подрост уничтожен пожаром. На участке, пройденном пожаром, были встречены единичные обгоревшие остатки зеленых мхов, а также кустарничков – Vaccinium myrtillus, V. vitis-idaea. Древесный ярус растительного сообщества пострадал в меньшей степени. Стволы деревьев обгорели в нижней части до высоты 1-3 м. Общая сомкнутость древесного яруса 0.6-0.7. Основной запас древесины сосредоточен в верхнем древесном пологе (состав 9С1Л+Б), высота которого достигает 23 м., диаметр стволов 36-39 см. Второй древесный полог также сохранился. Его сомкнутость не велика – 0.1-0.2,

высота 14-18 м, диаметр стволов варьирует от 16 до 34 см, состав 10Е+Б. Разрез заложен в парцелле сосны, приблизительно в 1.5 метрах от ствола.

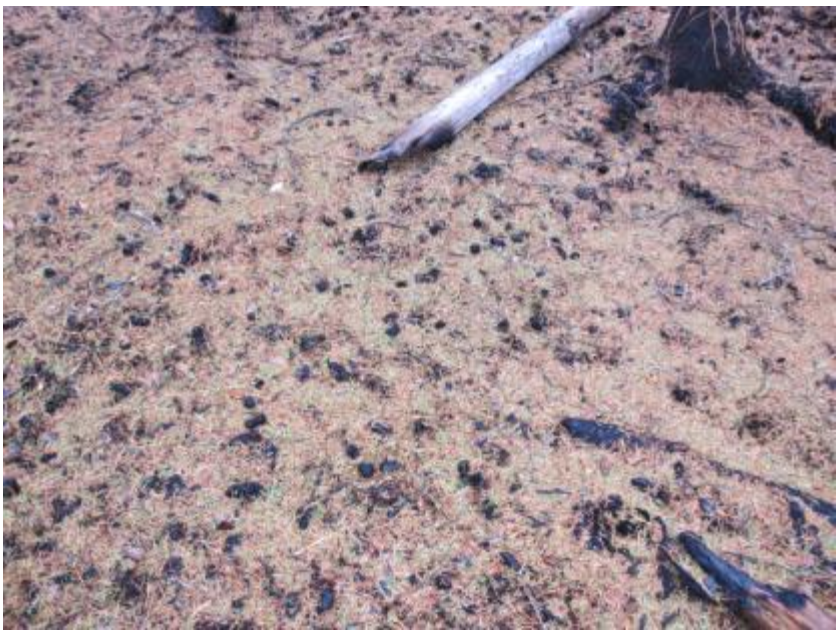
Описание почвенного профиля:

Горизонт	Глубина, см / мощность, см	Морфологическое описание
Qpyr /L	0-1 / 1	Остатки сгоревшего растительного материала, а так же свежего растительного опада из хвои сосны и шишек. Основа – пирогенные продукты горения верхней части постилки: угли, зола.
O(F)pyr	1-4 / 3	Бурый, средней разложившийся подгоризонт подстилки. Сухой. Наиболее сохранен в приствольных пространствах крупных деревьев. Пирогенные остатки, уголь, сажа, зола.
Epyr	4-8 / 4	Серовато-бурый (10YR7/2), супесчаный. наблюдается увеличение содержания углей. Сухой. Бесструктурный. Переходя ясный, граница языковатая.
Bhi, pyr	8-10 / 2	Желтовато-бурый (10YR4/4), легкосуглинистый, пропитанный продуктами горения растительных материалов. Много окатанной гальки. Переход ясный, граница волнистая.
BF	10-55 / 45	Неоднородный по окраске и гранулометрическому составу. Встречаются прослойки супесчаного (2.5YR4/8) и легкосуглинистого (10YR6/6) гранулометрического состава. Свежий. Бесструктурный. Переход заметный. Граница ровная.

BC	55- 80	Коричневый (2.5YR3/3) и желтовато-коричневый (5Y7/4), песчаный горизонт с примесью окатанной гальки.

Почва: подзол пирогенный иллювиально-железистый.

ЗВМ (Р-6-УК-13). Усть-Куломский район РК Кужбинское лесничество. Координаты: 61°46'43,8" с.ш., 53°39'31,4" в.д. Пожар был 2 июня 2013 года, вблизи села Малая Кужба (48 дней после пожара). Площадь гари – 2.7 га, пожар – низовой, беглый. Стволы повреждены (нагар) на высоте от 1 до 3 м. Хорошо выраженный микрорельеф с приствольными повышениями и микрозападинками. Подстилка на участке не уничтожена, сгорел только верхний слой опада и кустарничков, в верхней части очень много хвои сосны. Часть деревьев усыхает, усиливается опад хвои, сосны и, частично, ели. Тушение проводили водой с пожарных машин, а также прикопкой земли в части участка, расположенной ближе к дороге. По сравнению с гарью в Удорском районе наблюдается большая сохранность подстилки. Положение разреза. Заложен в окне, в 1,5 м от сосны. Растения напочвенного покрова выгорели полностью. Наблюдаются единичные выход брусники. Подрост сгорел полностью. В первом ярусе – сосна, единично присутствуют ель и береза. До пожара был кустарничковый (брусничный) сосняк.



Описание почвенного профиля:

Горизонт	Глубина, см / мощность, см	Морфологическое описание
Qpyr/L	0-1 / 1	Черный, углистый, сухой растительный опад. Представлен углистыми включениями и хвоей, не утратившей своего анатомического строения. Мажущий, много шишек и ветвей, обгоревших не полностью. В этот горизонт после пожара попадает существенное количество свежей хвои сосны. Граница совпадает с границей подстилки, переход ясный по окраске.
O(F)	1-3(4) / 2(3)	Сухой, бурый, уплотнен, войлокообразный, переплетен корнями кустарничков, белые гифы грибов, растительный опад средней степени разложенности, присутствуют единичные углистые включения, их количество увеличивается в нижней части горизонта, не разрушен пожаром, единичный валеж, граница волнистая, переход ясный.
E1	3(4)-8(9) / 4(6)	Сухой, окраска неоднородная, на общем фоне (7,5YR3/2) выражена потечность гумуса из вышележащего горизонта, связный песок, бесструктурный, много корней, древесных и корней кустарничков, в верхней части встречаются углистые прослойки, мелкие окатанные камни (диаметром до 3 мм), граница ровная, переход ясный по окраске.
E2	8(9)-14(25) / 17	Сухой, окраска неоднородная – 10YR6/2 (преобладает), 10 YR 5/6, рыхлый, но более плотный, чем предыдущий, бесструктурный, связный песок, много корней, их диаметр увеличивается до 5-8 см, есть окатанные камни, в нижней части наблюдается цементация, уплотнение,

		граница волнистая, переход ясный по окраске.
BF1	14(25)-27(40) 15(26)	Сухой, сцементированный, является самым плотным в профиле, окраска неоднородная, от бурого до ржавого (5YR3/6), связный песок, слабо оструктурен, мелкокомковатая структура, встречаются пятна, стяжения, конкреции диаметром до 1,5 см темно-бурого цвета (5YR2/2) (~5% от объема горизонта), если их раздавить – имеют мелкоикристую текстуру, доля каменистой части достигает 10% от объема горизонта, граница волнистая, переход ясный по цвету.
	27(40)-43(50) 23(10)	Свежий, рыхлый, менее плотный, чем предыдущий, цвет - 10YR5/6, связный песок, встречаются стяжения – образуют прослойки, в месте их концентрации наблюдается уплотнение, единичные корни (диаметром до 2 мм), много гальки камней (до 3-5 см в длину).
BF2	50-110 60	Механический состав и окраска неоднородны, на общем фоне (10YR4/6) встречаются морфоны с более ожелезненным, ржавым по цвету материалом, с большим количеством каменистой части,
	50-90 40	Морфоны - свежий, более рыхлый песчаный материал, окраска (5YR4/8), мощностью 10-15 см, местами сцементирован. На боковых стенках разреза встречается как однородный горизонт.
BC	90-110 20	Рыхлый, окраска однородная (10YR4/6),связный песок, бесструктурный, на этой глубине пропадают включения гальки, камней. Граница ровная, переход постепенный.
C	110- ↓	Более сырой желтовато-белый песок (10YR5/4), более крупный, рыхлый, бесструктурный.

Почва: подзол пирогенный иллювиально-железистый.

4ВМ (Р. 18-14). Прилузский район РК. Пожар был 30 мая 2014 года. Лес до пожара – сосняк бруснично–зеленомошный. Пожар низовой, высокой интенсивности, на момент исследования прошло 83 дня. Подстилка выгорела не полностью, преимущественно верхняя часть с кустарничками. Ферментативный горизонт остался не затронут пожаром. Единично возобновление брусники высотой около 3-4 см. Высота нагара на деревьях 3-4 метра. Микрорельеф выражен, представлен преимущественно старыми сгоревшими стволами сосен и пнями.

Описание почвенного профиля:

Горизонт	Глубина, см / мощность, см	Морфологическое описание
Qpyr/L	0-1 / 1	Черный, маломощный, представлен признаками горения растительного опада, шишек, ветвей, хвои, коры сосны (при этом данные компоненты сгорели не полностью, много углей, сажи, но большая часть объектов сохраняет свою структуру. Также встречаются не полностью сгоревшие мхи. Много опада прошлогодней хвои.
O(F)	1-4 / 3	Сухой, среднеразложившийся, пожаром не затронут, пронизан корнями сгоревших кустарничков, цвет от бурого до темно – серого, много гифов грибов. Переход ясный по цвету.
O(H)pyr	4-6 / 2	Темно – серый, сухой, пронизан корнями сосны, много углей (вероятно от былых пожаров), доминируют крупные угли 1-7 см в длину, от ветвей древесины. Переход ясный, граница ровная.
E	6-30 / 24	Белесый крупнозернистый песок. Бесструктурный, наиболее влажный по всему профилю, пронизан корнями сосны с диаметром 2-25мм. В подзолистом горизонте практически нет углей. Рыхлый, граница языковатая с затеками до 55(80)см.
BF1	30-60 / 30	Окраска неоднородная: на желтом фоне обилие черно – серых стяжений мощностью до 2 см. Более плотный, чем горизонт Е. В верхней части обилие корней до 60 мм. Переход постепенный по уменьшению интенсивности ржавой окраски. Темные стяжения идут гнездами до 40-

		60 см.
BF2	60-100 / 40	Желтовато – белесый песок, неоднородная окраска, на светло – желтом фоне выделяются бурые пятна. Менее плотный, чем вышележащий. Рыхлый, единичные корни до 3 мм. Переход постепенный по уменьшению интенсивности иллювиального железа.
C	100-140 / 40	Светло–желтый песок, холодит руку, бесструктурный.

Почва: подзол пирогенный иллювиально-железистый.

5ВМ (Р. 8-2015). Усть-Куломский р-н, РК. Координаты: 61°59'23,6" с.ш.; 55°21' 38,1" в.д. Пожар 2013 года (2 года на момент отбора образцов). Окрестности с. Тимшер. Сосняк кустарничково-зеленомошный. Нагар на стволах от 1.5 до 3 метров. Растения напочвенного покрова практически отсутствуют.

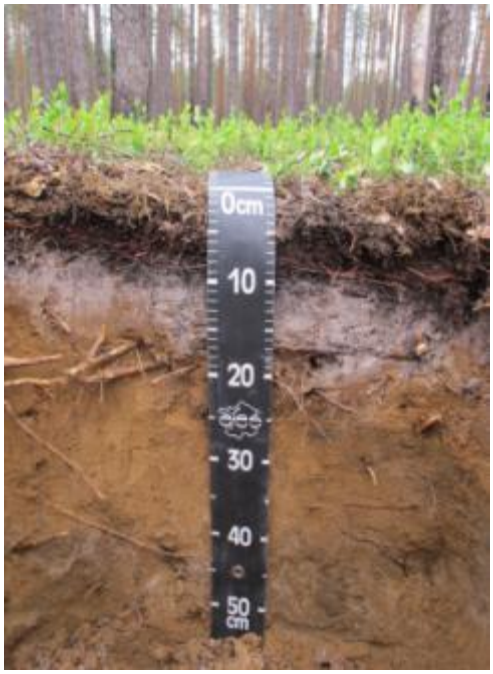
Описание почвенного профиля:

Горизонт	Глубина, см / мощность, см	Морфологическое описание
Qpyr	0-3 / 3	Неоднородной окраски. Обилие углей. Средне и хорошо разложившаяся подстилка. Остатки мхов и лишайников. Сухой. В нижней части не затронут пожаром. Сохранился опад (шишки, остатки мхов, ветви). Цвет черный, до коричневого, встречаются корни.
Epyr	3-8 / 5	10YR6/1. Светло-серый. Песок. Бесструктурный. Свежий. Много корней с диаметром до 3 мм. Углистых включений. Пропитан пирогенным органическим веществом. Переход ясный по цвету, граница ровная.
BF	8-20 / 12	Неоднородной окраски, в верхней части более темный. Пропитан органическим, пирогенным веществом. В нижней части схож с горизонтом BC1. В верхней части более интенсивная желто-бурая окраска 10YR5/6. Песок, бесструктурный.

		Корни диаметром до 5 мм, 5 шт. дм$^{-2}$. Свежий, переход постепенный по цвету. Граница ровная.
BC1	20-40 / 20	10YR5/6. Желтовато-коричневый. Песок, бесструктурный. Единичные мелкие окатанные камни до 5 мм в диаметре. Свежий, переход ясный по цвету. Граница ровная, более плотный, чем BF.
BC 2	40-60 / 20	Неоднородной окраски. Желтовато-коричневый с ржавыми включениями. Песок. Свежий, бесструктурный. Корней нет. Крупных камней нет. Окатанные камни до 5 мм.

Почва: подзол пирогенный.

6ВМ (Р-9-15). Усть-Куломский р-н, окрестности с. Тимшер. Координаты: 62°00'10,5" с.ш., 55°22' 55,1" в.д.. Сосняк кустарничково-зеленомошный, пройденный беглым низовым пожаров в 2013 году (два года после пожара). Пологий склон к ручью. В напочвенном покрове – черника, зеленые мхи. Подстилка нарушена частично, выгорела только верхняя, наиболее сухая часть.



Описание почвенного профиля:

Горизонт	Глубина, см / мощность, см	Морфологическое описание
Qpyr	0-1 / 1	Пирогенный горизонт представленный продуктами горения и остатками кустарничков и мхов.
O (F+H)	1-6 / 5	Присутствуют углистые включения, вероятно от предыдущих пожаров.
Epyr	6-18	Светло-серый (10YR6/1). Песчаный. Свежий.

	12	Бесструктурный. Свежий. Много корней с диаметром до 3 мм и углистых включений. Переход ясный, граница ровная.
BF	18-40 22	Бурый, супесь. Свежий. В верхней части много корней сосны. Переход заметный, граница ровная.
BC	40-60 20	Неоднородной окраски. Желтовато-коричневый с ржавыми включениями. Песок.

Почва: подзол иллювиально-железистый пирогенный.

1S (Р. 22-09-СУ). Троицко-Печорский район РК. Северная тайга. Координаты: 62º 56' 32.6" с.ш., 58º 32' 35.1" в.д.. Высота 214 м над ур. м. Левый берег реки Илыч (первая надпойменная терраса), приблизительно в 24.5 км на север от устья р. Укью. Пологий спуск к реке, 2-3 градуса. Ельник черничный с примесью березы и кедра. Общее проективное покрытие (ОПП) травяно-кустарничкового яруса достигает 50%. Основной доминант – черника (Vaccinium myrtillus L.). Заметна роль кислицы. Преобладают зеленые мхи, плевроциум Шребера, гилокомиум блестящий, кукушкин лен.

Горизонт	Глубина, см / мощность, см	Описание
O(L)	0-1 1	Опад, состоящий из хвои, и шишек, зеленых мхов. Свежий, слаборазложившийся.

O(F)	1-4 / 3	Бурый, среднеразложившиеся растительные остатки. Мицелий грибов.
O(H)	4-5 / 1	Хорошо разложившийся, темно-серый на границе с минеральным горизонтом мелкокомковатый. Граница ровная.
EL	5-15 / 10	Белесо-серый. Супесчаный. Зерна кварца. Свежий. Мелкокомковатый. Присутствуют древесные корни с диаметром от 1 до 10 мм. В нижней части более серый, пропитан потечным органическим веществом.
BEL	15-25 / 15	Неоднородной окраски от ярко-бурой до сизовато-бурого. Супесчаный, мелкокомковатый. Единичные древесные корни. Единичные ржавые стяжения и черные примазки. Переход ясный, граница волнистая.
BT1	25-55 / 30	Светло-бурый, легкий суглинок. Сильно пористый, Свежий. Многопорядковая структура, сначала распадается на крупные глыбки, которая далее распадается на комковато-листоватую структуры. Грани и внутрипедная масса практически одного цвета. Переход постепенный, граница ровная.
BT2	55-80 / 25	Бурый средний суглинок, неоднородный по гранулометрическому составу. Крупноплитчатый. Поверхность педов более интенсивной бурой окраски. Свежий. Окатанные камни, ниже есть единичные неокатанные остатки породы.

Почва: подзолистая текстурно-дифференцированная.

2S-1 (Р-25–09-СУ). Троицко-Печорский район РК. Северная тайга. Координаты: 62º 39' 47.2" с.ш.; 58º 50' 28.5" в.д.. Высота 177 м над ур. м. Левый берег реки Илыч (первая надпойменная терраса). Разрез заложен на пологом склоне, приблизительно в 100 метрах от старой избы. На месте гари (пожар был летом 2001 года). Идет возобновление лиственными породами осиной и березой. Под их пологом возобновление ели. В напочвенном покрове иван-чай, кукушкин лен, черника. Разрез заложен в 3-х метрах от сухостоя осины и в 1.5 метрах от ствола засохшей ели.

Описание почвенного профиля:

Горизонт	Глубина, см / мощность, см	Описание
Qpyr	0-3 / 3	Мощность варьирует от 1 до 3 см. темно-серый. Сухой. Неоднороднoокрашен. Много углей. Угли иду прослойкой. На поверхности хвоя ели. Остатки листьев осины. Пронизан корнями трав. Уголь сухой. Ломается при нажатии пальцем.
ELpyr	3-5(8) / 5	Неоднородный по цвету - серовато-бурый легкий суглинок. Плитчатый. Угли встречаются прослойками. Редкие корни. Сухой. Рыхлый. Прослойками отбеленные зерна кварца. В некоторых местах более серый, пропитан гумусом. Встречаются бурые пятна. Граница волнистая, переход резкий.
ELf	5(8)-18(20) / 12	Ярко-бурый средний суглинок. Сухой. Уплотнен. Единичные угли. Пористый. Много корней. Ожелезнение зонами до 5 см.
BEL	18(20)-41 / 23	Серо-бурый средний суглинок. Свежий. Слабоструктурен, плитчато-ореховатый. Единичные корни. Пористый. Переход постепенный по оструктуренности, граница ровная.
BT1	41-60 / 19	Серо-бурый средний суглинок. Белесо-ржавый. Единичные корни. Плитчато-комковатый. На гранях структурных отдельностей натеки гумуса. Свежий.
BT2	60-80 / 20	Схож с предыдущим но более оструктурен. Более плотный, отбеленные зерна кварца. Интенсивно-ржавые кутаны на поверхности педов.

Почва: подзолистая пирогенная.

2S-2. (Р-24–09-СУ). Троицко-Печорский район РК. Координаты: 62º 39' 45.5" с.ш., 58º 50' 29.9" в.д.. Высота 185 м над ур. м. Левый берег реки Илыч, (первая надпойменная терраса). Разрез заложен на слабопокатом склоне (2-3^0) в 25-30 м на ю-в от охотничьей избы, до реки 150 м. Ельник чернично-зеленомошный, до начала горелого участка 10-12 м, дальше идет сплошной горелый лес. Микрорельеф неровный, с небольшими микрозападинами, приствольные повышения, много вывалов.

Описание почвенного профиля:

Горизонт	Глубина, см / мощность, см	Описание
O(L+F)	0-4 4	Серовато-коричневая оторфованная слаборазложившаяся подстилка, увлажнена. Рыхлая, густо пронизана кустарничковыми и древесными корнями (1-5 см), под корнями встречаются послепожарные угольки до 1 см. Характерны тонкие ветвящиеся гифы грибов, белого и желтоватого цвета. Переход отчетливый по цвету.
O(H)	4-5 1	Темно-серый, местами черный, хорошо разложившийся, рыхлый, свежий. На границе с подстилочно-торфянистым горизонтом обильно древесные корни диаметром до 1 см. Переход ясный по цвету, граница неровная.
EL	5-10(12) 5-7	Неоднородно окрашен: на общем серовато-белесом фоне серовато-коричневые (редко бурые) небольшие пятна. Легкосуглинистый, рыхлый, мелкопористый, свежий.

		Слабовыраженная листовато-чешуйчатая структура. Древесные корни диаметром 2-3 мм, редко до 1 см. Переход по цвету, в пределах 1-2 см, граница неровная.
BF1	10(12)-15 / 3-5	Желтовато-бурый, местами охристый средний суглинок, рыхлый, мелкопористый, свежий. Максимально яркий охристый цвет горизонта наблюдается вокруг корней. Структура порошистая, включения окатанной гальки до 2 см, единично хорошо разложившиеся с сохранившимся клеточным строением полые корни. Тонкие древесные корни диаметром 2-5 мм распределены равномерно по всему горизонту. Переход постепенный по цвету.
BF2	15-20(22) / 5-7	Отличается более светлой желтоватой окраской. Легкий суглинок, слабоуплотнен. Хорошо выраженная мелкокомковатая структура, корней меньше. Переход ясный по цвету, граница волнистая.
BEL	20(22)-30 / 8-10	Белесовато-серый, супесчано-легкосуглинистый, рыхлый. Горизонт прерывается, часто исчезает, на боковой стенке выражен слабее. Структура мелкокомковато-порошистая, единично тонкие корни 1-2 мм. Переход ясный по цвету, граница неровная.
BT1	30-50 / 20	Коричневато-светло-бурый средний суглинок, слабоуплотнен, увлажнен. Структура плитчато-комковато-ореховатая, корней нет. Переход по изменению плотности и структуры.
BT2	50-80 / 30	Коричневато-бурый легкий суглинок, плотный. Многопорядковая плитчато-ореховатая структура: плитки толщиной до 1 см распадаются более тонкие плитки, распадающиеся на угловато-ореховатые отдельности размерами до 5 мм. Цвет внутрипедной массы более темный, по граням структурных отдельностей тонкие матовые кутаны. С 60 см отчетливо выражены поры (до 1-2 мм). С глубиной увеличивается плотность. В нижней части горизонта появляется опесчаненность, с 80 см сплошная линза тонкозернистого песка, мощностью 1-2 см.
BT3	83-120 / 47	Светло-коричневый опесчаненный легкий суглинок. Крупноглыбистая плитчатая структура, распадающаяся по длине на 1,5-2 см на тонкие плитки, которые распадаются на более мелкие отдельности. Горизонт очень плотный. С глубины 120 см почти сплошное подстилание крупных глыб коренных пород.

Почва: подзолистая текстурно-дифференцированная.

3S (P. 27-15). Прилузский район РК. Координаты: 60°40'03,8" С.Ш.; 49°21' 40,0". Выровненный водораздел, пологий склон около 2 градусов к р. Нюла. Пожар был около 100 лет назад (по кернам). Состав древостоя 4Б2Ос2С2Е. Разрез в окне между осиной и сосной, (послепожарной) + ель во втором ярусе. Много валежа, как старого, так и свежего, выпавшего в ближайшее время. Микрорельеф – выровненный, повышения по старым валежинам и приствольным повышениям. В напочвенном покрове брусника, вейник, кислица.

Описание почвенного профиля:

Горизонт	Глубина, см / мощность, см	Описание
O(L)	0-1 / 1	Свежий прошлогодний растительный опад, листья осины, хвоя осины, хвоя сосны, маломощный, хвоя ели
O(F)	1-4 / 3	Органические остатки на разной степени разложения, свежие ветви, листья, коричневато-бурый, гифы грибов, корней и углей нет. Переход ясный по степени разложения.
O(H)pyr	4-6 / 2	Темно-серый, хорошо разложившийся, сухой, пронизан корнями, редкие единичные угли (5%), мелкие угольки хорошо ломаются и размазываются. На границе с подзолистым горизонтом мелкокомковатая структура с единичными угольками.

EL	6-20 14	10YR5/3. Серый, супесь, бесструктурный, в верхней части пропитан потечным органическим веществом, рыхлый, много корней, гальки и валунов, углей нет, переход постепенный по появлению ржавых тонов.
BEL	20-40 20	10YR5/4. Супесчаный, неоднородной окраски, преобладает серый, встречаются ржавые и темно-желтые включения, обилие Fe-Mn примазок, которые формируются гнездами, свежий, много окатанной гальки и валунов. Вероятно, формирование примазок носит пирогенный характер, но непосредственно углей нет.
BEL	40-60 20	10YR5/4. Желтовато-серый, супесчаный, свежий, бесструктурный, обилие окатанной гальки и валунов, наличие черных примазок, существенно больше, чем в BT, более пористый, переход ясный, граница ровная по цвету и утяжелению гранулометрического состава. Пирогенных признаков на этой глубине не обнаружено
BT1	60-80 20	7.5YR4/4. Преимущественно схож с BT2, основные отличия наблюдаются в неоднородности гранулометрического состава, в верхней части наблюдается песчаные и супесчаные прослойки, увеличивается количество корней (до 2 мм) до 5 на 10 см^2,.
BT2	80-100 20	Бурый (7.5YR4/4) тяжелый суглинок. Многопорядковая структура. Распадается на глыбы-плитки-орехи, липкий, граница педов неоднородная, магистральные трещины покрыты илом более светлым из верхних горизонтов до глубины 90 см, плотный, влажный, на поверхности педов блестит вода, пор нет, темные Fe-Mn примазки, редкие единичные корни, наблюдается облегчение механического состава по вертикальным трещинам (песчаный), по вертикальным трещинам, совмещенными с ходами корней течет вода.

Почва: подзолистая постпирогенная текстурно-дифференцированная.

4S. (P. 16-14). Лиственно-еловый лес, разновозрастный. Координаты: 59°56'17.5" с.ш., 50°04'11.6" в.д.. Высота 218 м. Пожар был 154 года назад (по кернам). Участок «ветровала». Почвообразующие породы схожи с разрезом 15-14. Много вывалов (старых деревьев поросших мхом). В 1 метре от сухостоя ели, в окне. Приблизительно 14-16 метров, в 3 метрах пихта и ель (26 метров). В напочвенном покрове: костяника, земляника, воронец, дудник, хвощ лесной, осока, голокучник, кислица, майник, седмичник, герань, аконит. Микрорельеф выражен хорошо, около 10% занимают вывалы, и деревья сосны осины и березы. В первом ярусе преобладает осина+ель+береза, 7Ос1Б2Е.

Описание почвенного профиля:

Горизонт	Глубина, см / мощность, см	Морфологическое описание
O(L)	0-1 / 1	Сухой, представлен свежим опадом состоящим из разложившихся листьев, веток и единично мхов, в том числе хвои ели.
O(F)	1-3 / 2	Сухой, от темно–серого до темно–бурого, пронизан гифами грибов. Остатки хорошо разложившейся

		древесины. Войлокообразный. Углей не выявлено. Переход резкий по изменению окраски.
O(H)pyr	3-4 / 1	Темно–серый до черного, сухой. Обилие углей (послепожарных), мажутся, размер 0,5 – 1 см, плоская форма на всех стенках. Пронизан древесными корнями. Переход по цвету, граница волнистая.
EL	4-30 / 26	Сухой, светлосерый (2,5YR5/2) средний суглинок, обилие корней до 3 см в диаметре, хорошо выраженная мелкая плитчатая структура. Наличие темных натеков, пленок на гранях структурных отдельностей, внутрипедная масса светлее. Переход по цвету и гранулометрическому составу. Граница ровная.
BT1	30(35)-60 / 25(30)	Бурый (10YR4/6), тяжелый суглинок, единичные включения обломков горных пород, влажноватый. Наличие кутан на гранях структурных отдельностей. Структура мелкоореховатая до 5 мм. Единичные корни до 3 мм в диаметре. На глубинах 30-55 см (левая стенка), и 40-55 см (передняя стенка) темные пятна и прослойки с темной окраской, более липкие, единичные угли. Переход постепенный по степени выраженности кутан.
BT2	60-80 / 20	Светло–бурый (10YR4/4) тяжелый суглинок, липкий, более влажный. Поры отсутствуют, единичные корни до 2 мм, серо–сизые отдельности, пятна оглеения, внутрипедная масса светлее по сравнению с поверхностью агрегатов, Структура выражена слабо из-за высокой влажности. Переход постепенный по увеличению увлажнения.

Почва: подзолистая пирогенная текстурно-дифференцированная.

1М. Сосногорский район РК, Пожнинское лесничество. Средняя тайга. Сосняк сфагновый (багульниково-сфагновый). В напочвенном покрове голубика, черника, сфагнум, зеленые мхи. Разрез под кронами двух сосен. Микрорельеф слабо выражен: приствольные повышения, и понижения в межкроновых пространствах.

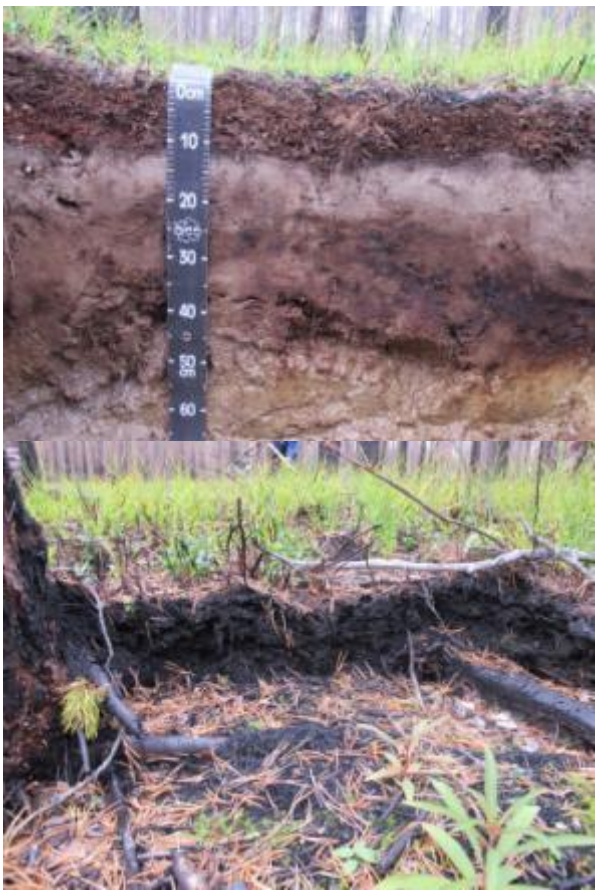
Описание почвенного профиля:

Горизонт	Глубина, см / мощность, см	Морфологическое описание
Оч.	0-6 / 6	Свежие сфагновые мхи, опад сосны и кустарничков. Влажный, слаборазложившийся.
O(F)	6-17 / 11	Темно-бурый, рыхлый. Среднеразложившиеся растительные остатки. Много корней, желтых гифов грибов. Кора сосны, ветви, корни.
O(H)	17-20 / 3	Темно-серый, хорошо разложившийся органический материал. Мажущий. Живые корни. Единичные угли. Граница волнистая.
E	20-50 / 25	Светло-серый 7.5Y7/2. Песок, рыхлый, бесструктурный. Галька, окатанные валуны. Свежий. Переход ясный по цвету.
BFHn	50-80 / 30	Черно-бурый песок (5YR4/4). Конкреции линзами. Галька, валуны. Рыхлый, влажный. Переход ясный.

BC	80-100 20	Неоднородной окраски. Сизовато-светло бурый (7.5YR7/1). Супесчаный, бесструктурный. Более плотный, чем вышележащий горизонт. Сырой, заливается водой.

Почва: торфяно-подзол иллювиально-гумусовый.

2М (Р.-25-14). Сосногорский район РК, Пожнинское лесничество, граница кварталов 114/115, высота 130м. Координаты: 63°21'31,3" с.ш., 54°40'18,0" в.д.. Общая площадь пожара 380 га, время пожара 22 июля 2013 года, пожар беглый низовой, причина – сухая гроза. Заболоченный сосняк кустарничково–сфагновый, в 800-900 м от р. Огиновож. Мощность подстилки от 12 до 30 см. Пожар проходил пятнами по местам с сухим горючим материалом. В напочвенном покрове – багульник, голубика, брусника, плевроциум, сфагнум гиргензона. Нагар на стволах высотой до 1-1,5 м. В ходе пожара преимущественно сгорел багульник, береза. Площади с выгоревшей подстилкой занимают примерно 10-15%. Микрорельеф – с хорошо выраженными пирогенными западинами. Пирогенные понижения более сырые по сравнению с основной поверхностью. Существенного воздействия на древостой пожар не оказал. Выпали единично деревья с поврежденной корневой системой.



Описание почвенного профиля:

Горизонт	Глубина, см / мощность, см	Морфологическое описание
Qруг.	0-0.5 / 0.5	Черный, пирогенный материал. Много углей и продуктов горения.
O(F)	0.5-10 / 9.5	Бурый, пронизан корнями кустарничков, свежий, среднеразложившийся органический материал, подстилка однородная, в нижней части единичные угли. На глубине 8-10 см. встречаются части березы с темными подпалинами, сильно перемешан с хвоей сосны.
Ehi	10-20 / 10	5Y4/1, светло–серый песок, бесструктурный, свежий, много корней с диаметром до 3 мм, граница волнистая, переход ясный по цвету, углей нет.
BHF	20-50 / 30	Неоднородной окраски от светло – серого до черного, бесструктурный, сырой, песок, обильно встречаются корни с диаметром до 1 мм, наиболее темные участки располагаются гнездами, мелко–ореховатая структура. По всему горизонту встречаются окатанные камни размером до 7 мм. Переход ясный по механическому составу.
BC_g	50-90 / 40	Опесчаненный легкий суглинок неоднородной окраски, 50% пятна оглеения (светло–серые), 50% светло–бурый, бесструктурный, сырой, наиболее плотный в профиле, корней нет, вода стоит на глубине 65 см.

Почва: торфяно-подзол пирогенный.

3М (Р-26-14). Сосногорский район РК, пожар от 7 августа 2013 года, в 9 км от пос. Поляна. Пожнинское лесничество, квартал 42, высота 115 м, площадь пожара 150 га. Координаты: 63°32'28,8" с.ш., 54°41'03,0" в.д.. Разрез заложен в сосняке сфагновом. В напочвенном покрове брусника, голубика, багульник, зеленые мхи, осока шаровидная. Нагар на стволах от 1 до 3 метров. Подстилка выгорела не полностью, очагами у стволов сосны и на более сухих участках. На поверхности подстилки очень много хвои сосны. Вывалов нет, высота древостоя 14-18 метров. Микрорельеф – с небольшими повышениями и понижениями по выгоревшим участкам.

Описание почвенного профиля:

Горизонт	Глубина, см / мощность, см	Морфологическое описание
Qpyr / O(L)	0-1 / 1	Продукты горения, зола, ветви, шишки, обилие хвои сосны.
O(F)	1-8 / 7	Бурый, среднеразложившийся, свежий, густо пронизан корнями багульника, войлокообразный, переход постепенный по степени разложенности органического материала.
O(H)	8-10(15) / 2-7	Темно – серый, мажущийся, хорошо разложившийся, сырой, пронизан корнями, единично угли.
E	15-25 / 10	Белесый (2,5Y5/1-2,5Y6/1) песок, сырой, бесструктурный, единичные корни с диаметром до 3мм., переход ясный по цвету, граница волнистая, с 10-15 см – более интенсивная серая окраска. 5Y7/1
BH	25-30 / 5	Светло – серый, однородной окраски, выделяется по всему разрезу, более плотный, чем нижележащий, есть темно–бурые прослойки по ходам корней, переход ясный, граница волнистая. 2,5Y5/1
BF	30-50 / 20	Неоднородной окраски, желтоватый, присутствуют более темные включения, песок, сырой, бесструктурный, много корней с диаметром до 3 мм. 2,5Y6/8
BCg1	50-70 / 20	Песок неоднородной окраски, желтовато – серый с ржавыми пятнами, сырой, единичные корни, много камней, переход ясный по гранулометрическому составу. 5Y7/1

BCg2	70-90 / 20	Неоднородная окраска, легкий суглинок, ржавый, сырой, много окатанных камней, корней нет, утяжеление механического состава с глубины 70 см. 5Y7/1, желтые 2,5Y6/8.

Почва: торфяно-подзол пирогенный.

4М (Р-28-14). Сосняк кустарничково–сфагновый. Эжвинское лесничество, квартал 50. Пожар от 4 августа 2011 года (три года после пожара). Подстилка выгорела очагами (вблизи корней и в наиболее сухих участках). В напочвенном покрове – осока шаровидная, голубика, брусника, политрихум, багульник, подбел, сфагновые мхи. Большинство деревьев «сухие», нагар на стволах до 1.5-3 метров. По выгоревшим участкам идет заболачивание, возобновление идет политрихумом.

Описание почвенного профиля:

Гори-зонт	Глубина, см / мощность, см	Морфологическое описание
O(L)pyr	0-1 / 1	Опад сосны, прошлогодняя хвоя, ветви, шишки, единично сухие остатки кустарничков и зеленых мхов, сухой.
O(F)pyr	1-4 / 3	Бурый, среднеразложившийся, свежий, в верхней части продукты горения растительного материала, много углей, пронизан мертвыми корнями, переход ясный по степени разложения.
O(H)	4-7 / 3	Темно–серый, до черного, встречаются угли, много корней, свежий.
E1	7-20 / 13	Серый (2,5Y5/1), песок, свежий, пропитка гумусом местами до черного, бесструктурный, пронизан корнями, в верхней части много углей.

E2	20-35 15	Светло – серый (2,5Y7/1), бесструктурный песок, сырой, единичные корни, более светлый, чем E1, пропитан органическим веществом, переход ясный, граница волнистая.
BF	35-60 25	Неоднородная окраска от 7,5YR5/6, до 10YR 7/6, серые пятна, бесструктурный, наиболее плотный в профиле, верхняя граница поднимается до 15 см. (где выгорела подстилка), а где не выгорела, то опускается до 35 см., граница ровная, переход постепенный по уменьшению ржавой окраски.
BC	60-80 20	Неоднородной окраски, преимущественно желтовато – серый (2,5Y7/3),песок, сырой, бесструктурный, гальки и валунов нет!!

Почва: торфяно-подзол пирогенный.

Приложение 2.2 – Физико-химические и химические свойства исследуемых почв (Сосняки лишайниковые)

Горизонт	Глубина, см	Цвет по Манселлу	pH		Hг*	Обменные катионы		V**	C	N	C:N	Оксалато-растворимые		Fe_2O_3 дит.***
						Ca^{2+}	Mg^{2+}					Fe_2O_3	Al_2O_3	
			водн.	сол.	смоль кг$^{-1}$ почвы			%				%		
1L_Условно-фоновый участок (16-13)														
O(L)	0-1	Н.о.	4.1	3.1	52.6	7.3	1.51	14	32.8	0.87	32	Н.о.		
O(F+H)	1-3		4.3	3.3	45.9	8.8	1.41	18	43.7	0.69	54			
E	3-13	10 YR 7/1	4.2	3.4	3.63	0.3	0.113	10	0.87	0.02	37	0.06	0.04	0.09
BF	13-45	10 YR 6/8	5.4	4.3	2.02	0.76	0.18	32	0.12	0.008	13	0.12	0.36	0.30
BC	45-65	10 YR 6/6	5.7	4.5	1.28	0.84	0.2	45	0.05	0.004	11	0.04	0.14	0.10
C1	65-110	10 YR 7/6	5.7	4.4	1.34	0.89	0.217	45	0.08	0.004	17	0.04	0.08	0.08
C2	110-130	10 YR 8/2	5.8	4.5	1.06	1.04	0.247	55	0.05	0.003	14	0.03	0.08	0.07
2L_1 год после пожара (29-14)														
Qpyr.	0-3	Н.о.	5.6	5.0	47.0	20.7	1.55	32	26.9	1.14	28	Н.о.		
Epyr	3-10	10YR4/1	4.0	3.4	6.11	1.28	0.21	20	1.45	0.059	29	0.12	0.08	0.20
BF1	10-30	2.5Y6/8	5.4	4.5	3.56	0.57	0.132	16	0.5	0.036	16	0.35	0.94	0.58
BF2	30-50	2.5Y6/8	5.3	4.5	2.68	0.54	0.136	20	0.15	0.013	13	0.16	0.46	0.38
BC	50-70	10YR6/8	5.3	4.5	1.82	0.67	0.20	32	0.1	0.008	15	0.06	0.17	0.18
3L_2 года после пожара (15-13)														
O(L)	0-0.5	Н.о.	4.8	3.5	2.23	9.5	1.43	83	41.1	1.14	31	Н.о.		
Qpyr	0.5-6(12)		4.9	3.2	1.55	1.29	0.26	50	3.9	0.123	27			
E	6(12)-15	7.5 YR 7/2	5.5	4.1	2.7	0.97	0.18	30	0.12	0.006	17	0.03	0.02	0.06
BF	15-40	7.5 YR 4/4	5.5	4.6	3.71	0.83	0.16	21	0.17	0.024	6	0.18	0.51	0.40
BC1	40-60	2.5 Y 7/6	5.8	4.4	2.93	1.12	0.234	32	0.05	0.02	2	0.05	0.13	0.13
BC2	60-90	2.5 Y 7/6	6.0	4.6	3.28	0.86	0.19	24	0.05	0.003	14	0.06	0.11	0.10
линза	40-90	2.5 Y 7/6	6.0	4.8	3.62	0.94	0.205	24	0.05	0.01	4	0.21	0.60	0.31
C	90-130	10 YR 6/4	6.1	4.6	3.08	0.78	0.231	25	0.07	0.003	20	0.03	0.09	0.07

линза	90-130(-)		5.1	3.6	2.1	1.21	0.37	43	0.12	0.02	5	0.36	0.41	0.61
4L_10 лет после пожара (18-13)														
O(L)	0-1	Н.о.	4.4	3.5	52.60	13.08	1.84	22	45.2	1.26	31			
Qpyr	1-3	2.5Y6/1	3.8	2.8	13.10	1.34	0.27	11	11.7	0.3	33		Н.о.	
E	3-7	2.5Y7/3	4.3	3.4	3.71	0.38	0.18	13	0.41	0.013	27	0.07	0.04	0.08
BF	7-20	7.5YR5/6	5.1	4.3	2.99	0.36	0.64	25	0.39	0.024	14	0.31	0.43	0.44
BC	20-39	10YR6/6	5.3	4.4	1.56	0.38	0.56	38	0.05	0.005	9	0.06	0.19	0.18
BCn	39-55	10YR5/6	5.6	4.5	1.26	0.77	0.25	45	0.03	0.003	9	0.05	0.16	0.10
C	55-100	2.5Y6/6	5.9	4.5	1.18	0.64	0.18	41	0.02	0.002	9	0.04	0.12	0.09
5L_16 лет после пожара (17-13)														
O(L)	0-1	Н.о.	4.4	3.4	60.20	12.51	1.90	19	51	1.2	36		н.о.	
Epyr	1-3	5Y5/1	3.9	2. 9	7.41	0.74	0.18	11	1.8	0.044	35	0.03	0.04	0.04
E	3-8	2.5Y8/1	4.3	3.5	1.82	0.47	0.21	27	0.21	0.016	11	0.02	0.02	0.03
BF	8-25	7.5YR5/6	5.0	4.3	3.63	0.45	0.21	15	0.53	0.029	16	0.47	0.73	0.60
BCn, pyr	25-47	2.5Y7/3	5.4	4.6	1.31	0.84	0.19	44	0.04	0.006	6	0.08	0.19	0.08
BC	47-70	2.5Y7/3	5.6	4.4	1.34	1.10	0.25	50	0.03	0.004	6	0.04	0.10	0.05
C	75-110	10YR5/6	5.7	4.4	1.50	1.05	0.30	47	0.04	0.005	7	0.08	0.12	0.14

Здесь и далее * - гидролитическая кислотность, ** - степень насыщенности основаниями; *** - дитиониторастворимые формы железа.

Приложение 2.3 – Физико-химические и химические свойства исследуемых почв (Сосняки бруснично-зеленомошные)

Горизонт	Глубина, см	Цвет по Манселлу	pH		Hг*	Обменные катионы		V**	C	N	C:N	Оксалато-растворимые		Fe_2O_3 дит.***
						Ca^{2+}	Mg^{2+}					Fe_2O_3	Al_2O_3	
			водн.	сол.	смоль кг$^{-1}$ почвы			%				%		
1ВМ_разр. 70-11 (условно-фоновый участок)														
O(L)	0-3	н.о.	4.3	3.6	64.4	11.2	2.5	18	43.50	0.85	60	н.о.		
O(F+H)	3-5		3.7	2.8	90.2	8.5	8.5	16	44.80	1.12	47			
E	5-25	10YR 8/1	4.2	3.3	2.9	0.2	0.1	8	0.15	0.01	17	0.01	0.02	0.02
BF	25-60	10YR 6/8	5.1	3.8	7.8	1.7	0.8	24	0.13	0.02	9	0.28	0.35	0.71
BC	60-80	10 YR 7/6	5.2	4.1	2.8	0.5	0.2	21	0.06	0.01	13	0.09	0.14	0.30
C	80-110	10YR 6/4	5.3	4.1	3.3	0.6	0.2	20	0.11	0.01	12	0.15	0.09	0.28
2ВМ_разр. 72-11 (50 дней после пожара)														
Qpyr / L	0-1	н.о.	6.1	5.0	32.1	22.4	3.6	45	44.50	1.27	41	н.о.		
O(F)pyr	1-4		4.2	2.8	82.5	9.8	2.0	12	45.60	1.06	50			
Epyr	4-8	10YR7/2	3.9	3.1	4.5	0.3	0.2	9	1.22	0.06	23	0.03	0.04	0.11
Bhi, pyr	8-10	10YR4/4	4.1	3.4	12.0	0.3	0.1	3	1.80	0.08	28	0.86	0.28	1.21
BF1	10-20(30)	10YR6/6	4.7	4.0	7.6	0.2	0.1	4	1.01	0.06	18	0.46	1.09	0.96
BF2	20(30)-55	2.5YR4/8	4.8	4.2	3.8	0.3	0.1	8	0.24	0.02	14	0.17	0.48	0.50
BC	55-80	2.5YR3/3	5.1	4.2	2.9	0.3	0.2	15	0.25	0.02	12	0.15	0.19	0.46
C	80-110	5Y7/4	5.2	4.4	1.2	0.4	0.2	32	0.04	0.00	12	0.06	0.05	0.15
3ВМ разр. -6-УК-13 (48 дней после пожара)														
Qpyr/L	0-1	н.о.	6.4	6.1	24.5	44	5.5	67	56.3	2.0	33	н.о.		
O(F)	1-3(4)		4.2	3.1	77.1	15.7	3.49	20	48.8	1.36	42			
E1	3(4)-8(9)	7.5YR3/2	4.3	3.3	2.99	0.59	0.219	21	0.51	0.036	17	0.03	0.02	0.07
E2	8(9)-14(25)	10 YR 6/2	5.0	3.9	2.46	0.56	0.18	23	0.3	0.023	14	0.06	0.04	0.20
BF1	14(25)-27(40)	5 YR 3/6	5.3	4.1	4.23	1.30	0.42	29	0.58	0.044	15	0.41	0.44	0.84

BF2	27(40)-43(50)	10 YR 5/6	5.6	4.4	2.46	1.36	0.30	40	0.16	0.015	12	0.13	0.31	0.32
	50-90	5 YR 4/8	7.1	6.4	0.76	2.66	0.53	81	0.46	0.026	21	0.14	0.11	0.61
Затек	50-90	5 YR 4/8	6.9	4.7	1.18	0.95	0.31	52	0.08	0.01	9	0.05	0.08	0.18
BC	90-110	10 YR 4/6	6.7	4.5	1.60	1.81	0.35	57	0.09	0.009	12	0.06	0.09	0.19
4BM разр. 18-14 (83 дня после пожара)														
Qpyr./O(L)	0-1	н.о.	5.8	5.3	32.8	22.5	2.73	43	59.0	1.54	45	н.о.		
O(F)	1-4		3.6	2.8	103	9.0	2.57	10	51.0	1.17	51			
O(H)pyr.	4-6		3.9	2.5	57.5	7.3	1.22	13	28.7	1.76	19			
E	6-20		4.1	3.4	0.87	0.74	0.14	50	0.13	0,008	19	0.007	0.003	0.025
	20-30		4.1	3.0	1.15	0.69	0.17	43	0.20	0,009	26	0.007	0.006	0.04
BF1	40-45		4.0	3.0	6.11	0.43	0.15	9	1.06	0.045	27	0.65	0.23	0.92
	40-60		5.1	4.8	1.56	0.66	0.25	37	0.21	0.014	18	0.11	0.32	0.20
нижняя часть языка	60-80		4.7	4.1	4.92	0.41	0.14	10	0.40	0.026	18	0.23	0.17	0.33
BF2	80-100		5.3	4.7	1.82	0.47	0.17	26	0.16	0.008	23	0.08	0.27	0.14
C	100-120		5.5	4.6	1.20	0.50	0.18	36	0.06	0.004	18	0.04	0.10	0.08
	120-140		5.6	4.6	1.34	0.52	0.21	35	0.06	0.005	14	0.05	0.08	0.008
5 BM разр. 8-15 (2 года после пожара)														
Opyr	0-3	н.о.	5.2	4.4	28.7	18.60	3.24	43	49.0	1.27	45	н.о.		
Epyr	3-8		4.2	3.5	2.99	1.29	0.42	36	1.45	0.051	33	0.02	0.03	0.05
BF	8-20		5.1	4.6	1.82	0.89	0.35	41	0.24	0.028	10	0.36	0.56	0.39
BC1	20-40		5.4	4.7	1.18	0.76	0.33	48	<0,15	<0,030	н.о.	0.10	0.35	0.17
BC2	40-60		5.8	4.4	1.37	0.75	0.49	48	<0,15	<0,030	н.о.	0.07	0.21	0.18
6 BM разр. 9-15 (2 года после пожара)														
Q pyr+O(L)	0-1	н.о.	5.4	4.6	0.89	11.84	3.24	94	46.4	1.21	45	н.о.		
O(F+H)	1-6		3.7	2.9	1.78	8.42	3.78	87	45.5	1.79	30	0.02	0.03	0.09
Epyr	6-18		4.2	4.3	1.10	0.32	0.26	35	0.25	0.028	10	0.00	0.01	0.02

BF	18-40		4.8	4.7	1.50	0.37	0.30	31	0.17	0.024	8	0.23	0.51	0.26
BC	40-60		5.8	4.9	1.08	0.42	0.32	41	0.11	0.020	6	0.14	0.30	0.16

* Нг – гидролитическая кислотность; ** V – степень насыщенности основаниями; *** – дитиониторастворимые соединения железа.

Приложение 2.4 – Физико-химические свойства исследуемых почв (Ельники)

Горизонт	Глубина, см	pH		Hг*	Обменные катионы		V**	C	N	C:N	Оксалато-растворимые, %		Fe_2O_3 дит
					Ca^{2+}	Mg^{2+}							
		водн.	сол.	смоль кг$^{-1}$ почвы			%				Fe_2O_3	Al_2O_3	%
1S Почва ельника условно-фонового участка 22-09_СУ													
O(L)	0-1	4.7	4.1	42.0	14.68	3.12	30	41.3	1.2	40	не опр.		
O(F)	1-4	4.5	3.5	51.4	15.4	1.65	25	45.7	1.6	33			
O(H)	4-5	4.1	3.1	73.7	13.34	0.31	16	42.9	1.43	35			
EL	5-10	3.7	2.8	12.2	0.29	0.00	2	1.06	0.07	18	0.09	0.25	0.114
	10-15	4.1	3.2	15.2	0.21	0.00	1	1.43	0.04	42	0.78	0.46	0.755
BEL	15-25	4.6	3.7	10.3	0.00	0.00	0	0.84	0.02	49	1.49	0.83	1.422
Bt1	25-55	4.9	3.7	9.2	0.00	0.02	0	0.3	0.018	19	0.49	0.56	0.673
Bt2	55-80	5.1	3.8	6.5	0.14	0.02	2	0.2	0.01	23	0.33	0.44	0.517
2S-2 Почва ельника геохимически подчиненного участка 24-09-СУ													
O(L+F)	0-4	4.9	3.9	53.8	22.8	3.7	33	28.60	1.10	30	не опр.		
O(H)	4-5	4.1	3.0	53.8	6.7	0.8	12	23.70	0.84	33			
EL	5-10(12)	3.9	3.0	8.3	0.3	0.2	6	1.35	0.10	16	0.30	0.32	0.46
ELf	10(12)-15	4.6	3.6	10.3	0.2	0.1	3	0.95	0.07	15	1.24	0.61	1.78
EL2	15-20(22)	4.6	3.7	12.5	0.2	0.1	2	0.71	0.06	14	1.04	0.55	1.53
BEL	20(22)-30	4.6	3.7	7.9	0.2	0.2	5	0.44	0.04	12	0.51	0.38	0.93
Bt1	30-50	4.8	3.7	8.3	0.3	0.3	7	0.33	0.04	10	0.67	0.48	1.13
Bt2	50-80	4.9	3.7	7.6	0.5	0.3	10	0.22	0.03	9	0.24	0.40	0.76
2S-1 Почва лиственного постпирогенного молодняка 9 лет 25-09_СУ													
Qpyr	0-3	5.7	4.2	4.7	39.7	4.3	90	38.0	1.70	26	не опр.		
ELpyr	3-5(8)	4.2	3.0	11.7	0.7	0.3	8	1.16	0.09	14	0.17	0.27	0.34
BF	5(8)-18(20)	4.8	3.7	14.2	0.4	0.2	4	1.15	0.07	18	1.08	0.82	1.93
BEL	18(20)-41	4.8	3.8	10.3	0.3	0.2	5	0.47	0.04	13	0.32	0.57	1.05
Bt1	41-60	5.0	3.7	10.8	0.6	0.5	9	0.25	0.03	10	0.2	0.36	0.75
Bt2	60-80	5.0	3.7	10.3	0.8	0.6	12	0.21	0.03	9	0.22	0.40	0.78

3S 100 лет после пожара (разр. 27-15)													
O(L)	0-1	5.0	5.2	25.6	32.9	6.1	60	44.0	1.47	35			
O(F)	1-4	3.9	3.4	52.6	23.9	5.3	36	44.1	1.9	27			
O(H)pyr.	4-6	3.7	4.3	48.1	15.7	3.2	28	29.9	1.53	23			
EL	6-20	3.9	4.6	4.71	0.6	0.3	17	0.47	0.049	11	0.27	0.21	0.30
BEL	20-60	4.0	4.7	5.61	0.4	0.2	10	0.55	0.052	12	0.56	0.36	0.48
BT1	60-80	4.0	4.8	4.52	0.2	0.2	7	0.21	0.035	7	0.48	0.57	0.40
BT2	80-100	3.7	5.9	5.25	12.2	6.9	78	0.17	<0,030	-	0.49	0.50	0.38
4S 154 года после пожара (разр. 16-14)													
O(L)	0-1	5.5	4.8	36.7	42	10.5	59	41.2	1.60	30			
O(F+H)pyr	1-3(4)	5.7	5.1	32.8	47	10.5	64	27.6	1.33	24			
	4-10	4.9	3.4	8.7	18.2	5.7	73	0.93	0.071	15	0.56	0.24	1.19
EL	10-20	5.3	3.8	6.0	5.4	1.46	54	0.68	0.054	15	0.57	0.24	1.13
	20-30	6.2	4.6	2.6	8.6	2.48	81	0.57	0.050	13	0.52	0.23	1.25
BT1	30(35)-40	6.5	5.0	1.9	12.0	3.84	89	0.36	0.038	11	0.38	0.22	1.23
	40-50	6.8	5.2	1.7	26.7	7.8	95	0.38	0.043	10	0.29	0.31	1.46
	50-60	6.9	5.4	1.4	23.4	5.6	95	0.32	0.038	10	0.23	0.3	1.31
BT2	60-70	7.2	5.7	1.1	2.70	1.26	79	0.22	0.034	8	0.20	0.25	1.09
	70-80	7.6	6.5	0.6	2.89	0.86	86	0.23	0.030	9	0.21	0.25	0.92
BT3	80-90	8.0	6.9	0.4	20.5	1.28	98	0.79	0,025	37	0.21	0.21	0.96
	90-100	8.1	7.0	0.4	73	6.2	99	1.03	0,023	52	0.21	0.20	1.08
C	100-110	8.1	7.1	0.4	113	10.8	100	1.12	0,024	54	0.20	0.20	1.08
	110-120	8.2	7.1	0.4	117	12.3	100	1.09	0,024	53	0.19	0.2	1.26
черн. пятно		7.1	5.5	2.4	29.0	7.3	94	1.25	0.085	17	0.51	0.35	1.37

Приложение 2.5. – Физико-химические свойства полугидроморфных почв.

Гор.	Глубина, см	pH		Hг*	Обменные катионы		V**	C	N	C:N	Оксалато-растворимые, %		Fe_2O_3 дит.
					Ca^{2+}	Mg^{2+}					Fe_2O_3	Al_2O_3	
		водн.	сол.	смоль 100 / кг почвы			%				%		
1М, условно-фоновый (разр.-104-12)													
Оч.	0-6	4.2	3.3	52.6	20.5	6.6	34	42.8	1.1	45			
O(F)	6-17	3.6	2.6	88.2	18.1	4.7	21	48.4	0.95	59			
O(H)	17-20	3.9	3.0	55.0	4.9	1.74	11	33.3	0.69	56			
E	20-50	4.3	3.3	2.6	0.93	0.264	32	0.41	0.015	32	0.03	0.04	0.01
BFHn	50-80	4.5	3.8	8.1	0.97	0.240	13	1.3	0.054	28	0.40	0.34	0.44
BC	80-100	5.0	3.8	2.6	2.70	0.87	58	0.15	0.028	6	0.22	0.08	0.25
2М, 1 год после пожара (разр. 25-14)													
Qpyr	0-0.5	5.5	4.5	84.4	10.6	3.00	14	42.7	1.53	33			
O(F)	0.5-10	3.4	2.7	193.0	11.6	3.81	7	48.5	0.91	62			
Ehi, pyr	10-20	4.1	3.6	4.1	0.45	0.20	14	0.6	0.032	22	0.013	0.039	0.025
BHF	20-35	4.6	3.9	13.9	0.49	0.19	5	2.3	0.098	27	0.32	0.43	0.37
	35-40	4.7	4.2	9.0	0.54	0.22	8	1.44	0.049	34	0.30	0.36	0.36
	40-50	4.7	4.0	15.2	0.51	0.18	4	4.8	0.122	46	1.03	0.69	1.1
BCg	50-70	4.9	4.0	5.6	0.58	0.30	13	0.2	0.02	12	0.37	0.14	0.48
	70-90	5.0	3.9	6.8	0.79	0.50	16	0.2	0.025	9	0.43	0.17	0.54
3М, 1 год после пожара (разр. 26-14)													
O(L)pyr	0-1	5.8	4.6	110	21.5	2.65	18	41.2	2.2	22			
O(F)	1-8	3.9	3.0	166	19.8	5.4	13	41.4	0.88	55			
O(H)	8-10(15)	4.3	3.2	105	8.8	3.26	10	37	0.98	44			
E пятно	1-6	5.0	3.8	4.0	0.41	0.122	12	1.02	0.052	23	0.041	0.061	0.054
	15-25	5.1	4.2	3.3	0.22	0.073	8	0.5	0.022	27	0.022	0.063	0.030

BH	25-30	4.6	4.2	8.1	0.34	0.19	6	0.73	0.039	22	0.16	0.44	0.32
BF	30-50	4.9	4.4	3.8	0.25	0.129	9	0.22	0.016	16	0.49	0.26	0.74
BCg1	50-70	5.3	4.1	3.8	0.38	0.206	13	0.09	0.01	11	0.13	0.10	0.20
4M, 3 года после пожара (разр. 28-14)													
O(L) pyr	0-1	4.6	3.9	75.4	12.6	1.83	16	40.1	1.38	34			
O(F) pyr	1-4	4.2	3.3	118	14.7	3.34	13	45.9	1.35	40			
O(H)	4-7	3.8	3.0	124	15.6	2.92	13	35.9	0.92	46			
E1	7-20	4.2	3.7	1.08	0.37	0.124	31	0.35	0.018	23	0.007	0.008	0.018
E2	20-35	4.8	4.5	2.7	0.51	0.18	20	0.37	0.023	19	0.038	0.41	0.052
BF	35-60	4.7	4.5	2.3	0.33	0.094	16	0.22	0.027	10	0.55	0.28	0.72
BC	60-80	4.9	4.2	2.2	0.32	0.094	16	0.05	0.005	12	0.10	0.09	0.15

Приложение 2.6 – Гранулометрический состав подзолов иллювиально-железистых (сосняков лишайниковых) и постпирогенных участков.

Гор.	Глубина, см	Гигр. влага (в %)	Потеря при обработке (в %)	Размер механических элементов (мм) и их содержание (в %)						Сумма частиц < 0.01
				1-0.25	0.25-0.05	0.05-0.01	0.01-0.005	0.005-0.001	< 0.001	
1L, Р-16-13 (условно-фоновый)										
E	3-13	0.22	0.11	71	25	2	0	2	0	2
BF	13-45	0.67	0.48	64	29	0	3	0	4	7
BC	45-65	0.26	0.24	81	16	2	0	0	1	1
C1	65-110	0.22	0.29	86	12	1	0	1	1	1
2L, год после пожара (29-14)										
Epyr	3-10	0.62	0.33	48	40	4	2	1	5	8
BF1	10-30	1.26	0.84	33	46	3	4	6	8	18
BF2	30-50	0.76	0.79	32	49	5	0	1	13	14
BC	50-70	0.43	0.29	41	53	0	0	1	5	6
3L, 2 года после пожара (15-13)										
E	6(12)-15	0.08	0.02	64	33	1	0	0	2	2
BF	15-40	0.73	0.49	69	26	0	1	0	4	5
BC1	40-60	0.31	0.24	67	30	0	0	0	2	2
BC2	60-90	0.17	3.37	75	21	0	0	0	4	4
линза	40-90	0.72	0.01	55	42	1	0	0	1	1
C	90-130(-)	0.18	0.84	62	36	0	1	0	1	2
линза	90-130(-)	2.54	0.10	38	23	6	5	7	21	33
4L, 10 лет после пожара (18-13)										
E	3-7	0.26	0.06	36	58	2	0	3	1	4
BF	7-20	0.68	0.39	40	53	2	2	0	3	5
BC	20-39	0.33	0.28	33	62	1	1	2	1	4
BCn	39-55	0.30	0.25	41	57	0	0	1	1	2
C	55-100	0.24	0.24	39	60	0	0	0	1	1
5L, 16 лет после пожара (17-13)										
Epyr	1-3	0.53	0.28	47	46	4	1	0	2	3

E	3-8	0.13	0.18	30	67	2	0	1	0	1
BF	8-25	1.17	0.72	29	62	2	2	0	5	7
BCn, pyr	25-47	0.35	0.32	41	55	0	0	2	2	4
BC	47-70	0.28	0.15	30	69	0	0	0	1	1
C	75-110	0.38	0.21	17	81	0	0	0	2	2

Приложение 2.7– Гранулометрический состав почв сосняков бруснично-зеленомошных.

Горизонт	Глубина, см	Содержание фракций, % (размер частиц, мм)						Сумма частиц < 0.01
		1-0.25	0.25-0.05	0.05-0.01	0.01-0.005	0.005-0.001	< 0.001	
1 ВМ условно-фоновый участок (разр. 70-11)								
E	5-25	38	34	19	5	0	4	9
BF	25-60	11	23	37	6	2	21	29
BC	60-80	41	43	6	2	0	8	10
C	80-110	43	38	9	3	0	7	10
2ВМ 50 дней после пожара (разр. 72-11)								
Epyr	4-8	65	13	11	6	0	5	11
Bhi, pyr	8-10	49	10	19	5	3	14	22
BF1	10-20(30)	26	15	28	10	5	16	31
BF2	20(30)-55	71	15	3	2	0	9	11
BC	55-80	85	5	3	2	0	5	7
C	80-110	82	13	0	2	0	3	5
3ВМ 48 дней после пожара (6-УК-13)								
E1	3(4)-8(9)	62	30	4	2	0	2	4
E2	8(9)-14(25)	60	28	5	3	1	3	7
BF1	14(25)-27(40)	64	22	2	0	2	10	12
	27(40)-43(50)	68	24	0	1	1	6	8
BF2	90-110	59	32	0	0	1	8	9
	50-90	80	11	1	2	1	5	8
затек	50-90	68	27	1	1	0	3	4
BC	90-110	66	29	1	1	0	3	4
C	глубже 110	89	8	0	0	1	2	3
4ВМ 83 дня после пожара (18-14)								
E	6-20	87	10	0	1	0	2	3
E	20-30	61	34	1	1	1	2	4

BF1	40-45	77	8	0	1	2	12	15
BF1	40-60	86	9	0	1	0	4	5
Нижняя часть языка	60-80	83	7	1	1	0	8	9
BF2	80-100	87	9	0	0	0	4	4
C	100-120	84	13	1	0	0	2	2
C	120-140	86	9	0	0	1	4	5
5BM два года после пожара (8-15)								
Epyr	3-8	64	29	3	2	0	2	4
BF	8-20	53	38	0	3	2	4	9
BC1	20-40	56	37	2	1	1	3	5
BC 2	40-60	57	34	3	0	2	4	6
6BM два года после пожара (разр. 9-15)								
Epyr	6-18	58	39	1	0	1	1	2
BF	18-40	57	34	3	0	1	5	6
BC	40-60	48	46	3	0	0	3	3

Приложение 2.8 – Гранулометрический состав почв на суглинистых отложениях (ельники чернично-зеленомошные).

Горизонт	Глубина, см	Потеря при обработке, (в %)	Размер фракций (мм)						Сумма частиц < 0.01
			1-0.25	0.25-0.05	0.05-0.01	0.01-0.005	0.005-0.001	< 0.001	
1S условно-фоновый (22-09-СУ)									
EL	5-10	0.01	2	33	37	5	8	15	28
	10-15	0.77	3	23	41	6	7	20	33
BEL	15-25	0.01	2	31	37	6	6	18	30
Bt1	25-55	1.38	1	19	46	5	7	22	34
Bt2	55-80	0.95	1	39	30	4	4	20	28
2S 9 лет после пожара (25-09-СУ)									
EL	3-5(8)	0.21	2	31	39	5	9	14	28
ELf	5(8)-18(20)	1.05	3	31	30	7	7	22	36
BEL	18(20)-41	0.24	1	48	20	5	6	21	32
Bt1	41-60	0.07	0	32	33	6	10	19	35
Bt2	60-80	1.04	0	40	25	5	7	23	35
3S 100 лет после пожара (27-15)									
EL	6-20	0.53	55	22	8	4	3	8	15
BEL	20-40	0.05	44	31	9	6	1	9	16
BEL	40-60	0.12	32	31	20	5	3	9	17
BT1	60-80	0.18	10	10	7	7	20	46	73
BT2	80-100	0.76	15	12	7	8	15	43	66
4S 154 года после пожара (16-14)									
EL	4-10	0.81	3	3	61	9	10	14	33
	10-20	0.65	4	20	46	5	11	14	30

	20-30	0.83	3	21	44	5	9	18	32
ВТ1	30(35)-40	0.90	1	18	40	7	8	26	40
	40-50	1.28	1	4	41	5	6	43	54
	50-60	1.28	1	34	14	4	5	42	51
ВТ2	60-70	1.33	1	42	12	4	7	34	45
	70-80	1.50	1	46	4	8	8	33	49
черн.пятно		1.38	2	28	19	4	5	42	51

Приложение 2.9 – Гранулометрический состав полугидроморфных почв.

Горизонт	Глубина, см	Потеря при обработке (в %)	Размер фракций (мм)						Сумма частиц < 0.01
			1-0.25	0.25-0.05	0.05-0.01	0.01-0.005	0.005-0.001	< 0.001	
1М Условно-фоновый									
E	20-50	0.14	40	42	8	1	4	5	10
BHFn	50-80	1.77	45	37	8	1	0	9	10
BEL	80-100	0.37	19	41	20	3	9	8	20
2М 1 год после пожара (25-14)									
Ehi, pyr	10-20	0.26	62	28	5	1	1	3	5
	20-35	1.33	64	27	2	0	1	6	7
BHF	35-40	1.27	60	30	4	1	1	4	6
	40-50	1.46	60	26	7	0	1	6	7
BCg	50-70	0.48	26	40	18	6	2	8	16
	70-90	0.60	23	37	19	8	4	9	21
3М 1 год после пожара (26-14)									
E пятно	1-6	0.05	67	27	2	2	0	2	4
	15-25	0.28	63	31	3	1	0	2	3
BH	25-30	0.51	57	26	4	2	3	8	13
BF	30-50	0.34	44	49	2	0	1	4	5
BCg1	50-70	0.15	60	26	5	2	2	5	9
BH	70-90	0.09	15	42	22	3	9	9	21
4М 3 года после пожара (28-14)									
E1	7-20	0.16	48	48	2	0	0	2	2
E2	20-35	0.73	31	55	3	1	1	9	11
BF	35-60	0.35	39	53	2	1	1	4	6
BC	60-80	0.17	41	51	2	1	1	4	5

Приложение 2.10 – Содержание водорастворимого органического вещества в почвах сосняков лишайниковых

Участок	Время после пожара	Горизонт	Глубина, см	Свс**	Свнс	Свос	Nвс
				мг/г			
Условно-фоновый							
1L	К*	O(L)	0-1	5.4±1.1 / 1.65	–	5.4±1.1	н.о.
		O(F+H)	1-3	9.3±1.8 / 2.12	–	9.2±1.8	н.о.
		E	3-13	0.10±0.02 / 1.14	–	0.10±0.02	н.о.
		BF	13-45	0.010±0.002 / 0.83	–	0.010±0.002	н.о.
Постпирогенные участки							
2L	1 год	Qpyr.	0-3	0.77±0.15 / 0.29	0.068±0.014	0.70±0.14	0.048±0.005
		Epyr	3-10	0.21±0.04 / 1.45	0.007±0.001	0.20±0.04	0.005±0.0005
		BF1	10-30	0.080±0.016 / 1.6	–	0.081±0.016	–
		BF2	30-50	0.030±0.006 / 2.0	–	0.033±0.006	–
		BC	50-70	0.030±0.006 / 3.0	–	0.031±0.006	–
3L	2 года	Qpyr/L	0-0.5	2.4±0.5 / 0.6	–	2.4±0.5	н.о.
		Qpyr(Epyr)	0.5-6(12)	0.020±0.004 / 0.05	–	0.019±0.004	н.о.
		E	12-15	0.090±0.002 / 7.5	–	0.086±0.02	н.о.
		BF	15-40	0.010±0.002 / 0.60	–	0.012±0.002	н.о.
4L	10 лет	Qpyr/L	0-1	6.0±1.2 / 1.33	0.018±0.0004	6.0±1.2	н.о.
		Qpyr+E	1-3	0.10±0.02 / 0.09	–	0.10±0.02	н.о.
		E	3-7	0.110±0.022 / 2.67	–	0.11±0.02	н.о.
		BF	7-20	0.060±0.012 / 1.53	–	0.055±0.011	н.о.
5L	16 лет	Qpyr/L	0-1	5.63±1.13 / 1.10	0.013±0.003	5.6±1.1	н.о.
		Epyr	1-3	0.22±0.04 / 1.22	–	0.22±0.04	н.о.
		E	3-8	0.090±0.018 / 4.28	–	0.079±0.016	н.о.
		BF	8-25	0.06±0.01 / 1.13	–	0.059±0.012	н.о.

* – условно-фоновый участок; ** – в числителе абсолютное значение, в знаменателе – доля от общего углерода; прочерк – ниже предела определения; n.d. – не определяли.

Приложение 2.11 – Содержание водорастворимого органического вещества в почвах сосняков бруснично-зеленомошных

Участок	Время после пожара	Горизонт	Глубина, см	Свс**	Свнс	Свос	Nвс
				мг/г			
Условно-фоновый							
1 ВМ	К*	O(L)	0-3	15±3 / 3.45	–	15±3	0.34±0.03
		O(F+H)	3-5	7.5±1.5 / 1.68	–	7.5±1.5	0.182±0.019
		E	5-25	0.08±0.16 / 5.33	–	0.08±0.16	0.004±0.0004
		BF	25-60	0.030±0.006 / 2.31	–	0.03±0.006	–
Постпирогенные							
2ВМ	50 дней	Qpyr/L	0-1	5.7±1.2 / 1.28	0.096±0.019	5.6±1.1	0.167±0.17
		O(F)pyr	1-4	6.1±1.2 / 1.33	–	6.1±1.2	0.26±0.03
		Epyr	4-8	0.24±0.05 / 1.97	–	0.24±0.05	0.013±0.001
		Bhi, pyr	8-10	0.32±0.06 / 1.78	–	0.32±0.06	0.010±0.001
		BF	10-55	0.11±0.02 / 1.09	–	0.11±0.02	–
3ВМ	48 дней	Qpyr/L	0-1	2.7±0.5 / 0.48	0.10±0.02	2.6±0.5	н.о.
		O(F)	1-3(4)	5.9±1.2 / 1.21	0.054±0.011	5.8±1.1	н.о.
		E1	3(4)-8(9)	0.13±0.03 / 2.55	–	0.12±0.02	н.о.
		E2	8(9)-14(25)	0.05±0.01 / 1.79	–	0.05±0.01	н.о.
		BF1	14(25)-27(40)	0.080±0.016 / 1.38	–	0.080±0.016	н.о.

* – условно-фоновый участок; **– в числителе абсолютное значение, в знаменателе – доля от общего углерода; прочерк – ниже предела определения.

Приложение 2.12 – Содержание водорастворимого органического вещества в почвах ельника зеленомошного

Участок	Время после пожара	Гори-зонт	Глубина, см	Свс	Свнс	Свос	Nвс
				мг/г			
Условно-фоновый							
1S	К*	O(L)	0-1	9.1±1.8 / 2.20	0.70±0.14	8.4±1.7	0.40±0.04
		O(F)	1-4	5.2±1.0 / 1.14	0.64±0.13	4.6±0.9	0.35±0.04
		O(H)	4-5	5.0±1.0 / 1.17	0.53±0.11	4.5±0.9	0.22±0.02
		EL	5-10	0.58±0.12 / 5.47	0.022±0.004	0.56±0.11	0.011±0.001
			10-15	0.14±0.03 / 0.98	0.020±0.004	0.13±0.03	0.012±0.001
		BEL	15-25	0.05±0.01 / 0.60	0.011±0.002	0.043±0.008	–
		BT1	25-55	0.06±0.01 / 2.0	0.010±0.002	0.042±0.008	–
		BT2	55-80	0.040±0.008 / 2.0	–	0.031±0.006	–
Постпирогенный							
2S	9 лет	Qpyr	0-3	2.0±0.4 / 0.52	0.307±0.06	1.68±0.3	0.090±0.009
		ELpyr	3-5(8)	0.30±0.06 / 2.59	0.018±0.004	0.28±0.06	0.008±0.001
		ELf	5(8)-18(20)	0.27±0.05 / 2.35	0.029±0.006	0.24±0.05	0.008±0.001
		BEL	18(20)-41	0.07±0.01 / 1.49	0.011±0.002	0.06±0.012	0.003±0.0003
		BT1	41-60	0.040±0.008 / 1.6	0.006±0.001	0.04±0.008	–
		BT2	60-80	0.041±0.008 / 1.90	0.008±0.002	0.03±0.006	–

* – условно-фоновый участок; ** – в числителе абсолютное значение, в знаменателе – доля от общего углерода; прочерк – ниже предела определения.

Приложение 2.13 – Содержание водорастворимого органического вещества в почвах сосняков полугидроморфных ландшафтов

Участок	Время после пожара	Горизонт	Глубина, см	Свс*	Свнс	Свос	Nвс
				мг/г			
Условно-фоновый							
1М	К*	Оч.	0-6	19±4 / 4.51	–	19±4	1.0±0.1
		O(F)	6-17	9.8±2.0 / 2.01	–	9.7±1.9	0.26±0.03
		O(H)	17-20	4.4±0.9 / 1.33	–	4.4±0.9	0.19±0.02
		E	20-50	0.140±0.028 / 3.41	–	0.13±0.03	–
		BHFn	50-80	0.29±0.06 / 2.23	–	0.28±0.06	–
		BC	80-100	0.06±0.01 / 4.0	–	0.06±0.012	–
Постпирогенные участки							
2М	1 год	Qpyr/L	0-0.5	0.70±0.14 / 0.14	–	0.68±0.14	0.045±0.004
		Ehi, pyr	10-20	0.11± 0.02 / 1.83	–	0.11±0.02	0.0030±0.0003
		BHF	20-50	0.06±0.01 / 0.26	–	0.062±0.012	–
		BCg	50-90	0.05±0.01 / 0.35	–	0.05±0.01	–
3М	1 год	Qpyr+O(L)	0-1	0.79±0.16 / 0.19	–	0.76±0.15	0.064±0.006
		O(F)	1-8	3.2±0.6 / 0.76	–	3.1±0.6	0.149±0.015
		O(H)	8-10(15)	1.4±0.3 / 0.38	–	1.4±0.3	0.115±0.012
		E	15-25	0.040±0.002 / 2.0	–	0.04±0.01	–
		BH	25-30	0.100±0.006 / 0.41	–	0.10±0.02	0.002±0.0002
		BF	30-50	0.031±0.002 / 0.45	–	0.032±0.006	0.005±0.0005
		BCg1	50-70	0.010±0.004 / 2.22	–	0.011±0.002	–
4М	3 года	Qpyr	0-1	2.8±0.6 / 0.69	–	2.7±0.5	0.18±0.02
		O(F)pyr	1-4	1.8±0.4 / 0.40	–	1.8±0.4	0.11±0.01
		O(H)	4-7	2.1±0.4 / 0.57	–	2.0±0.4	0.11±0.01
		E1	7-20	0.040±0.008 / 1.14	–	0.042±0.008	0.0031±0.0003
		E2	20-35	0.031±0.006 / 0.81	–	0.033±0.006	0.003±0.0003
		BF	35-60	0.020±0.004 / 0.91	–	0.021±0.004	0.0062±0.0006
		BC	60-80	0.021±0.004 / 4.0	–	0.022±0.004	0.0051±0.0005

* – в числителе абсолютное значение, в знаменателе – доля от общего углерода; прочерк – ниже предела определения.

Приложение 3.

Приложение 3.1. Описание участков и морфологические описания почв постагрогенных ландшафтов

1АС (Р-3-15). Условно-коренной лес. Ельник чернично-зеленомошный. Координаты: 60°28´27.8´´ с.ш, 49°30´17.9´´ в.д. Не проводили подсеку и не пахали. Можно предположить, что схожие участки составляли основу лесов, вовлекаемых в сельскохозяйственное использование в среднетаежной подзоне. Характерный для лесных экосистем микрорельеф, связанный с вывалами, приствольными повышениями и межкроновыми понижениями. Валеж на различной степени разложения различных пород деревьев. Сомкнутость древостоя 0.6-07. Высота основного полога 18-24 м. Под пологом древесного яруса наиболее активно возобновляется ель, отмечены особи осины. Подлесок выражен (0.2), сложен рябиной. Общее проективное покрытие (ОПП) травяно-кустарничкового яруса до 70%. Абсолютный доминант – черника (*Vaccinium myrtillus*). Встречаются брусника (*Vaccinium vitis-idaea*), марьянник лесной (*Melampyrum sylvaticum*), голокучник трехраздельный (*Gymnocarpium dryopteris*), седмичник европейский (*Trientalis europaea*) и др. Состав и структура травяно-кустарничкового яруса типичны для зеленомошных бореальных лесов. ОПП мохово-лишайникового яруса 60%. Доминируют *Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens*. По микропонижениям встречается *Sphagnum girgensohnii*. Отмечен кукушкин лён – *Polytrichum commune*. Разрез заложен в окне между тремя елями, до каждой приблизительно 2,5-3 метра. Идет активное возобновление елью. В составе почв (по данным прикопок) присутствуют торфянисто-подзолисто-глееватые почвы.

Описание почвенного профиля:

Горизонт	Глубина, см / мощность, см	Морфологическое описание
O(L)	0-1 / 1	Прошлогодний опад. Листья, шишки, остатки зеленых мхов, растений напочвенного покрова. Свежий, переход по степени разложения.
O(F)	2-5 / 3	Среднеразложившийся, пронизан корнями и гифами грибов, влажный, войлокообразный, много остатков древесины на средней степени разложения.
O(H)	5-8 / 3	Темно-серый (до черного), хорошо разложившийся, мажущий органический материал, много углей, влажный, пронизан корнями. Переход ясный, граница волнистая.
ELhi	8-15 / 7	Белесый (2.5Y7/2), супесчаный, неоднородной окраски, пропитан потечным органическим веществом. Бесструктурный. Переход постепенный, граница ровная.
ELg	15-45 / 30	Неоднородной окраски, преобладающая желто-серая (2.5Y7/4), с глубиной увеличиваются желтые и бурые пятна. Неоднородный по гранулометрическому составу (основа – супесь), светло-серые участки имеют более легкий гранулометрический состав. Корни диаметром до 2 см, окатанные камни и галька, сырой. Переход постепенный, граница ровная.
BEL	45-60 / 15	Неоднородный по окраске и гранулометрическому составу. Преобладающий цвет желто-серый Желтовато-серый (2.5Y7/3) средний суглинок, сырой, на гранях структурных отдельностей много скелетан и заносов из верхнего горизонта. По магистральным трещинам идет поступление

		песчаного материала, хорошо оструктурен, комковато-плитчатый, мелкопористый, липкий, единичные корни, примазки. Переход постепенный, по уменьшению доли вертикальных трещин. Граница ровная.
BT1	60-80 / 20	Бурый (10YR6/4) средний суглинок, влажный. Ореховато-призматическая многопорядковая структура. Обильно бурые пленки на структурных отдельностях. Много Fe-Mn примазок. Наличие скелетан. Переход постепенный, граница ровная.
BT2	80-100 / 20	Бурый (10YR6/4) тяжелый суглинок Схож с BT1. Встречаются следы оглеения в виде серо-сизой окраски, поверхность педов более светлая, чем в вышележащем горизонте. Много примазок, окатанная галька, корней нет, сырой.

Почва: подзолистая текстурно-дифференцированная.

2АС (Р. 4-15). Разнотравный луг. Координаты: 60°28´27.7´´ с.ш., 49°31´50.8´´ в.д. Читаево. Участок сенокоса, выведенный из использования 5-7 лет назад. Вершина увала. Микрорельеф практически не выражен. Идет постепенное зарастание сосной, елью и ивой. В результате прекращения выкашивания произошло вселение в сообщество видов из сорно-рудеральной эколого-ценотической группы. ОПП травяно-кустарничкового яруса 80-85%. Явные доминанты отсутствуют. Наибольшим обилием характеризуются ястребиночка зонтиковидная – *Pilosella cymosa*, погремок весенний – *Rhinanthus vernalis*, подмаренник мягкий – *Galium mollugo*, клевер луговой – *Trifolium pratense*, клевер ползучий – *Amoria repens* и др. Напочвенный покров угнетен, его покрытие не превышает 10%. Преобладают представители родов Plagiomnium и Drepanocladus.

Описание почвенного профиля:

Горизонт	Глубина, см / мощность, см	Морфологическое описание
AY	0-2 / 2	Темно-серый, супесчаный, густо переплетен корнями, маломощный, сухой, темные углистые включения, переход ровный, граница ясная.
P	2-30 / 28	Желтовато-серый (2.5Y6/3), однородный легкий суглинок. Слабовыраженная комковатая структура. Уплотнен, значительные включения гальки и камней до 1-2 см, свежий, пронизан корнями, поверхность педов более темная, чем внутрипедная масса, темные углистые включения. Переход ясный по цвету, граница ровная.
BEL	30-45 / 15	Неоднородной окраски, от серого до бурого (10YR6/4), плотный легкий суглинок, многопорядковая плитчато-ореховатая структура, отсутствуют скелетаны и кутаны, значительное число примазок, переход постепенный по структуре и цвету.
BT1	45-60 / 15	Бурый (10YR6/4) легкий суглинок, поверхность магистральных трещин заполнена более светлым и песчаным материалом, разваливается на агрегаты и плитки по трещинам, примазки, липкий, переход постепенный по увеличению размера структурных отдельностей. Переход постепенный, граница ровная.
BT2	60-80 / 20	Бурый (10YR 6/4) легкий суглинок, влажный, магистральные ходы и поверхности педов покрыты скелетанами, внутрипедная масса темнее. Служит водоупором, по нему стекает вода, оструктурен, пор нет. Галька занимает около 20% от объема.
BT3	80-110 / 30	Бурый (10YR6/5) средний суглинок, меньше скелетан, липкий, сырой, примазки, кутан больше, чем в BT2.

Название почвы: агрозем текстурно-дифференцированный.

ЗАС (Р-2-15). Сенокосные угодья, выведенные из использования в 1996 году (19 лет назад). **Березняк разнотравный.** Координаты: 60°28´25.1´´ с.ш., 49°31´53.0´´ в.д. Микрорельеф практически не выражен. Пологий склон. Высота основного яруса древостоя 6-8 метров. Сомкнутость 0.6. Состав 8Б2И+Ол. В подросте ель,

береза. В подлеске – ива. В травяно-кустарничковом ярусе (ОПП 40-60 %) преобладают такие виды, как сныть обыкновенная – *Aegopodium podagraria*, осока ранняя – *Carex praecox*, герань лесная – *Geranium sylvaticum*, манжетка (Alchemilla sp.), щучка дернистая – *Deschampsia cespitosa*. Мхи (Drepanocladus sp., Plagiomnium sp.) занимают до 50 % и заселяют более влажные участки микрорельефа. Разрез заложен в окне приблизительно в 1,5-2 метрах от ели и березы.

Описание почвенного профиля:

Горизонт	Глубина, см / мощность, см	Морфологическое описание
AY	0-2 / 2	Темно-серый, супесчаный, Свежий. Густо переплетен корнями трав, остатки прошлогодних трав, мелкокомковатый. Переход ясный, граница ровная.
P	2-20 / 18	Серый (2.5Y6/2) легкий суглинок, свежий, в верхней части густо переплетен корнями, бесструктурный, много крупных углей преимущественно в нижней части, встречаются фрагменты из горизонта E, плотный, встречаются моренные окатанные камни до 7-10 см, мелкая галька, встречаются морфоны с большим количеством углей. Переход ясный по цвету, граница ровная.
EL	20-30 / 10	Желтовато-бурый (2.5Y7/2) легкий суглинок, бесструктурный, влажный, более темный. Переход ясный, по цвету и утяжелению гранулометрического состава, граница языковатая.
BEL	30-40(45) / 10(15)	Неоднородной окраски от желто-бурой (10YR6/3) до серой, есть вертикальные трещины с более облегченным гранулометрическим составом. Средний суглинок. Сырой, липкий, единичные поры, наличие окатанной гальки и валунов, структура переходит к BT,

		наличие ржавых прослоек. Переход постепенный по возрастанию оструктуренности и утяжелению гранулометрического состава.
ВТ1	40(45)-60 / 15(20)	Бурый (7.5YR5/4), от среднего к тяжелому суглинку, ореховато-призматическая многопорядковая структура, много кутан и скелетан, единичные камни, окатанная галька, наиболее плотный и липкий, сырой, корней практически нет. Переход постепенный, граница ровная.
ВТ2	60-80 / 20	Ярко-бурый (7.5YR5/4), от среднего к тяжелому суглинок, липкий, сырой, единично поры, структура менее выражена, чем в ВТ1, охристые и ржавые пятна, с глубиной увеличивается опесчаненность.
ВТ3	80-100 / 20	Ярко-бурый (10YR5/6) средний суглинок, липкий, сырой, единично поры, структура менее выражена, охристые и ржавые пятна, с глубиной увеличивается опесчаненность. Вода с 70 см

Почва: агрозем текстурно-дифференцированный.

4АС (Р-1-15). Ельник кисличный. Координаты: 60°28´24.8´´ с.ш., 49°31´53.0´´ в.д. Предположительное время вывода из сельхозпользования 1930 г. (85 лет). Общая сомкнутость древесного яруса до 0.7. Состав по пологам: I – 6Е3Б1Ос, II – 10Е, III – 10Е. Высота деревьев верхнего полога 18-22 м. В подросте отмечена береза, ель, осина. Подлесок разреженный, сложен рябиной, малиной, красной смородиной. ОПП травяно-кустарничкового яруса 40-50 %. Наибольшим обилием характеризуется кислица – *Oxalis acetosella*. К числу видов-наполнителей относятся черника – *Vaccinium myrtillus* и копытень – *Azarum europaeum*. Мохово-лишайниковый ярус не развит. Разрез заложен в окне на границе крон ели и березы – 1,5 м от ствола. Микрорельеф выровненный, нетипичный для коренных лесов. Вероятно это старые поля, окаймленные мелиоративными канавами. Площадь участков приблизительно 30 на 70 метров. Следы выборочных рубок, вероятно, для заготовки дров, около 10-20 лет назад. Единично вывалы ели и осины. Пахотный горизонт проявляется на всей территории, ограниченной дренажными канавами.

Описание почвенного профиля:

Горизонт	Глубина, см / мощность, см	Морфологическое описание
O(L)	0-1 / 1	Бурый слаборазложившийся органический материал, свежий, листья, трава, шишки, хвоя, местами пронизан гифами грибов, переход заметный по степени разложения, граница волнистая.
O(F+H)	1-3 / 2	Темно-серый (черный), пронизан корнями трав, свежий, углей не обнаружено, хорошо разложившиеся компоненты (шишки, ветви), переход ясный, граница ровная (нехарактерная для лесных почв).
P1	3-10 / 7	Серый (2.5Y6/2) легкий суглинок, свежий, много корней. Слабовыраженная мелкокомковатая структура. Наиболее рыхлый в профиле, единично окатанные мелкие камни, встречаются единичные угли, единично отбеленные песчаные частицы. Переход постепенный, граница ровная.
P2	10-25 / 15	Серый (2.5Y6/2), более влажный. Встречаются угли. Более плотный, легкий суглинок, слабоструктурен (листоватая), граница ровная, единично окатанные камни, переход ясный по цвету, более гумусирован, и больше углей, чем в P1. Переход ясный, граница ровная.
EL	25-35 / 10	Серовато-желтый (2.5Y7/2) легкий суглинок, плитчатый. Свежий, единичные окатанные камни

		до 5 см, угли отсутствуют, единичные мелкие поры и корни. Переход ясный, граница языковатая.
BEL	35-50 / 15	Неоднородной окраски (2.5Y6/3), бурый, на поверхности агрегатов более белесый. Хорошо выражена плитчато-ореховатая многопорядковая структура, средний суглинок (гранулометрический состав присыпки легче), распадается на крупные глыбки до 3 см, поверхность педов более светлая. Пронизан вертикальными трещинами до глубины 80 см, но основная масса на глубине 50 см. Внутрипедная масса темнее, чем поверхность структурных отдельностей, гранулометрический состав вертикальных трещин более легкий, выделяли по уменьшению вклада вертикальных трещин, наличие окатанных камней до 10 см, единичные корни. Переход постепенный, граница языковатая.
BT1	50-70 / 20	Бурый (10YR5/4) средний суглинок, более однородный по гранулометрическому составу, многопорядковая структура, разламывается на глыбки и более мелкие отдельности, поверхность педов темнее, чем внутрипедная масса, железисто-марганцевые примазки, единичные более легкие заносы песчаной фракции, единичные поры до 1 мм, наиболее липкий и плотный, разламывается по границам песчаных скелетан, наиболее оструктурен в профиле. Переход постепенный, граница ровная.
BT2	70-90 / 20	Бурый (10YR4/6) легкий суглинок. Многопорядковая ореховато-призматическая структура, более влажный, на поверхности педов существенное количество влаги, единичные примазки, единичные поры, вертикальных трещин почти нет, окатанные камни, сырой. Переход постепенный.
BT3	90-120 / 30	Бурый (10YR4/4) до ржавого, менее оструктурен, средний суглинок, сырой, мелкие единичные поры, окатанные камни.

Почва: Агродерново-подзолистая текстурно-дифференцированная.

1-1АС (Р.15-14). Койгородский район, Койгородское лесничество, возвышенность Северные Увалы. Центр 623 квартала, высота 245 м над ур. м. Координаты: 59°57′00.4′′ с.ш., 50°17′37.6′′ в.д. Водораздел реки Суран и правого притока реки Мытец. Ельник чернично–зеленомошный, в первом ярусе Ель+Б+П (8Е1Б1П), высота первого яруса до 30 метров, Хорошо выражен микрорельеф, много вывалов

и старых валежин. Разрез заложен у ели высотой 24 метра (диаметр 90 см.). Приблизительный возраст (по керну в полевых условиях) примерно 150 лет, т.е. они могут быть послепожарные. В напочвенном покрове: черника, голокучник, майник, хвощ лесной, кислица. Мхи – гилокомиум, политрихум, декрокум. Морфологическое строение примерно одинаковое с разной пропиткой минеральных горизонтов. Разрез 15-14-1 заложен в 1 метре от ели. В профиле присутствует большой корень, диаметром 10 см. Под ним элювиальный горизонт более бурый. Отбор образцов производили через 10 см. для точной диагностики профильного распределения. Отдельно отобрали образцы из элювиальной толщи под большим корнем, по которому поступает большая часть стволовой воды с глубин 10-20 и 20-30 – обозначены 14-15-1 и 14-15-2 соответственно.

Описание почвенного профиля:

Горизонт	Глубина, см / мощность, см	Морфологическое описание
O(L)	0-2 / 2	Свежий еловый опад, состоящий из ветвей, хвои, листьев березы, очес из зеленых мхов. Сухой, встречаются дождевые черви.
O (F)	2-4 / 2	Темно–серый к черному. Хорошо разложившийся, рыхлый. Много гифов грибов, местами хорошо разложившаяся древесина. Рыхлый, влажноватый. Крупные древесные корни.
O(H)	4-5 / 1	Темно–серый, выделяется фрагментарно. Влажноватый. Хорошо разложившиеся древесные остатки и корни. Граница волнистая.
EL	5-20	Средний суглинок. Неоднородная окраска (10YR5/4). В

	15	верхней части пропитан гумусом (желтовато–бурые пятна) по ходам корней. Общий фон белесовато – серый, слабоуплотнен, крупнопористый (поры до 1мм), Больше пор в интервале 10-20 см., Мелкоплитчатая структура. Свежий, переход выражен слабо, корни от 3-10 мм в диаметре, встречаются рыхлые Fe-Mn конкреции (10YR5/3). Под корнем более бурый (желтовато – бурый), более рыхлый, чем слой 5-10 см., мелкокомковатый.
EL	20-30(35) 10(15)	Более однородный (2,5YR6/3) по цвету, более плотный тяжелый суглинок. Свежий. Мелкоореховатая структура, встречаются конкреции и примазки. Переход заметный по структуре. Плотный. Переход постепенный, граница волнистая.
BEL	30(35)-40 5(10)	Неоднородно окрашен, на желтовато – буром фоне (5YR4/3) свежие, более светлые языки 10YR5/3 (затеки). Свежий, плотный. Содержит корни 2-4 см в диаметре. Встречаются примазки, ореховатая структура, размер 5-25 мм. Влажноватый, хорошо разрыхлен корнями полыми внутри. Переход постепенный, граница волнистая.
BT1	40-80 40	Бурый (5YR4/4), хорошо структурирован тяжелый суглинок. Скелетаны хорошо выражены до 70(80) см. Обилие белесых скелетан на гранях структурных отдельностей, особенно на верхних и боковых гранях.Многопорядковая структура: крупные плитки в длину 2-3 см, в толщину 1,5 см, распадаются на призмы и орехи. С глубиной возрастание структурных отдельностей и уменьшение степени выраженности скелетан, единичны мелкие корни.
BT2	80-100 20	Бурый (5YR4/4), плотный, тяжелый суглинок. Внутрипедная масса более светлая. Влажноватый, единичны темные примазки, с глубиной более влажный.
C	100-130 30	Бурый (5YR4/6), бесструктурный. Средний, тяжелый суглинок, с глубиной увеличивается влажность,

Почва: подзолистая текстурно–дифференцированная на пылеватых суглинках.

1-2АС (Р. 17-14). Прилузский район РК. Залежь после сенокоса, заброшенного примерно 10 лет назад, высота 209 метров н.у.м.. Координаты: 59°22´36,1´´ с.ш., 49°44´24,8´´ в.д.. Правый берег реки Летка, приблизительно в 400 метрах от реки. Нижняя часть пологого склона. Микрорельеф практически не выражен. Возобновление идет преимущественно сосной высотой от 3-6 метров. Подрост – сосна, ива, береза, основа в подлеске – ива. Доминируют луговые сообщества – лисохвост, клевер средний, зверобой, клевер ползучий, тимофеевка луговая.

Описание почвенного профиля:

Горизонт	Глубина, см / мощность, см	Морфологическое описание
P1	0-10 / 10	Серый легкий суглинок. Слабовыраженная комковатая структура. Сухой, много дождевых червей. Рыхлый, единичные угли, конкреции и темные примазки. Переход постепенный, граница ровная. На поверхности ветошь, много сухой травы, переход к следующему горизонту по уменьшению корней.10YR4/3.
P2	10-20 / 10	Серый (10YR4/3), боле плотный, сухой, легкий суглинок, уменьшается доля корней. Увеличивается доля примазок и конкреций. Переход постепенный, граница ровная.
P3	20-33 / 13	Светло-серый (10YR5/3). Более плотный переход по цвету и гранулометрическому составу.
BEL	33-43 / 10	Желтовато–бурый (10YR5/3-5/4), более плотный, средний суглинок, обилие конкреций и глинистых примазок. Свежий. Единичные корни. Появляются признаки горизонтальной делимости.
BT1	43-60 / 17	Бурый (10YR5/4), средний суглинок, белесые скелетаны до 3 мм на гранях структурных отдельностей. Обилие черных примазок. Единичные корни, холодит руку.
BT2	60-80 / 20	Схож с предыдущим: но структурные отдельности больше, распределение скелетан приурочено к трещинам, более плотный, липкий тяжелый суглинок, много примазок. Переход постепенный по уменьшению выраженности скелетан. Основной цвет - 7,5YR3/4-4/4,

		скелетаны – 10YR6/2.
BT3	80-100 / 20	Бурый (5YR4/4), средний суглинок, Грани ржавые, существенно меньше скелетан. Свежий. Много темно–серых примазок. Местами скелетаны сохраняются по наиболее крупным трещинам. Переход постепенный, единичные мелкие корни.
C	100-120 / 20	Среднеопесчаненный, средний суглинок, бурый (5YR4/3-4/4), однородный, влажный. Липкий, встречаются единичные скелетаны и поры.

Почва: агрозем текстурно-дифференцированный.

1AC(P) (P-105-12). Корткеросский район РК. Заказник «Маджский». Координаты: 61°59´50.6´´ с.ш., 51°20´06.6´´ в.д. Сосняк кустарничково-зеленомошный. В напочвенном покрове черника, зеленые мхи, луговик. Лес вторичный, послерубочный (около 60 лет назад). Имеются следы пожаров на стволах и постпирогенных остолопов. Разрез в 1 метре от сосны. Микрорельеф хорошо выражен, обусловлен старыми пнями и вываленными деревьями. Описание разреза почвы контрольного участка Корткеросского района (Маджа). В напочвенном покрове брусника и зеленые мхи.

Описание почвенного профиля:

Горизонт	Глубина, см / мощность, см	Морфологическое описание
O(L)	0-3 / 3	Свежий растительный опад, листья, ветви, неразложившиеся остатки мхов.
O(F)	3-7 / 4	Бурый органический материал, желтая микориза,

		единичные угли, свежий, пронизан корнями, хорошо разложившиеся корни деревьев.
O(H)	7-9 / 2	Темный (почти черный), подгоризонт. Хорошо разложившийся органический материал, присутствуют угли.
E	9-20(35) / 11-36	Белесый (сероватый) бесструктурный песок, много корней, рыхлый, сухой, черные примазки и угольки, граница языковатая, переход ясный по цвету.
BF	20(35)-55(80) / 35	Ярко-бурый песок, уплотнен, единичные корни (в верхней части), цвет неоднородный, ржавые пятна в нижней части прослойки более тяжелого легкосуглинистого материала, темные примазки, граница волнистая.
BC	80-120 / 40	Светло-бурый песок, плотные окатанные остатки пород (до 1-2 мм в диаметре), свежий, рыхлый, бесструктурный.

Почва: подзол иллювиально-железистый.

2AC(P) (P-106-12). Корткеросский район РК. Территория совхоза «Пезмогский». Координаты: 61°59´31.2´´ с.ш., 51°18´33.3´´ в.д. Вторая надпойменная терраса р. Маджа. Выровненный участок. Единично - сосна и береза. Использовался как сенокосный луг. Выведен из использования 8 лет назад. В напочвенном покрове щучка дернистая, лисохвост, тысячелистник.

Описание почвенного профиля:

Горизонт	Глубина, см / мощность, см	Морфологическое описание
P1	0-8 / 8	Серый, песок, бесструктурный. Сухой, много ходов муравьев, углистые включения
P2	8-18(20) / 10-12	Песок неоднородной окраски, пронизан корнями, прослойками идут трещины, особенно в верхней части, ржавые пятна и линзы осветленного материала, рыхлый, пористый, много ходов насекомых, сухой, граница ровная, переход ясный по цвету
E	18(20)-35 / 15-17	Светло–серый (7,5Y8/1) песок. Бесструктурный, рыхлый по нему, много ходов и трещин, по которым передвигаются муравьи. Корней практически нет, мощность может сильно варьировать вплоть до полного отсутствия горизонта. Много углистых включений, граница волнистая, переход ясный.
BF	35-60 / 25	Песок, ржаво-красный (5YR 3/6). Переуплотнен, с трудом продавливается, неоднородный, много черных примазок и стяжек, где их больше, горизонт наиболее плотный. Корней нет, интенсивность окраски ослабевает с глубиной. Отобран образец из самого плотного участка. Граница волнистая, переход ясный.
BC	60-80 / 20	Темно-бурый (10 YR 7/8) песок. Свежий, плитчатый, слегка уплотнен, неоднородный, встречаются более светлые участки

Почва: агродерново-подзол иллювиально-железистый.

Приложение 3.2 – Физико-химические свойства исследуемых почв.

Участок	Горизонт	Глубина, см	pH H_2O	Hr+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	∑	V	Fe_2O_{3d}	Fe_2O_{3ox}	Al_2O_{3ox}
				смоль $кг^{-1}$				%			
1АС	O(L)	0-1	5.4±0.1	51±6	25.0±1.9	12.3±0.9	37	42	Н.о.	Н.о.	Н.о.
	O(F)	2-5	5.0±0.1	84±10	14.0±1.0	5.2±0.4	19	19	Н.о.	Н.о.	Н.о.
	O(H)	5-8	4.3±0.1	110±13	16.9±1.3	2.3±0.17	19	15	0.40	0.36	0.45
	ELhi	8-15	4.6±0.1	11.7±1.4	0.9±0.15	0.2±0.02	1	9	0.35	0.25	0.28
	EL1	15-30	5.0±0.1	8.1±1.0	1.0±0.17	0.3±0.03	1	14	0.65	0.43	0.22
	EL2	30-45	5.4±0.1	5.7±0.7	2.1±0.19	0.6±0.06	3	32	0.59	0.36	0.16
	BEL	45-60	5.6±0.1	7.8±1.0	8.3±0.6	2.7±0.2	11	59	0.74	0.37	0.28
	BT1	60-80	5.8±0.1	5.9±0.7	12.8±1.0	3.3±0.25	16	73	1.37	0.39	0.24
	BT2	80-100	5.8±0.1	4.5±0.5	16.4±1.2	4.2±0.3	21	82	1.21	0.30	0.21
2АС	AY	0-2	6.2±0.1	20.4±2.5	11.7±0.9	3.9±0.3	16	43	0.58	0.29	0.14
	P1	2-15	5.8±0.1	3.7±0.4	5.0±0.4	1.0±0.1	6	62	0.72	0.37	0.19
	P2	15-30	5.8±0.1	3.6±0.4	5.2±0.4	1.2±0.12	6	64	0.87	0.42	0.21
	BEL	30-45	5.8±0.1	4.6±0.6	7.1±0.5	2.3±0.17	9	67	1.01	0.37	0.24
	BT1	45-60	5.9±0.1	5.5±0.7	8.3±0.6	2.5±0.18	11	66	1.01	0.30	0.22
	BT2	60-80	6.1±0.1	4.5±0.5	9.8±0.7	2.8±0.21	13	74	1.05	0.33	0.19
	BT3	80-110	6.0±0.1	3.6±0.4	11.6±0.9	3.0±0.23	15	80	1.02	0.30	0.17
3АС	AY	0-2	5.8±0.1	29±3	12.9±1.0	4.5±0.3	17	38	0.54	0.31	0.15
	P1	2-10	5.4±0.1	7.9±1.0	1.7±0.15	0.6±0.06	2	23	0.87	0.55	0.28
	P2	10-20	5.6±0.1	6.5±0.8	1.6±0.15	0.6±0.06	2	25	0.79	0.49	0.23
	EL	20-30	5.6±0.1	5.4±0.6	1.7±0.15	0.8±0.08	3	32	0.86	0.42	0.22
	BEL	30-40)	5.6±0.1	9.6±1.2	4.6±0.4	2.0±0.20	7	41	1.17	0.58	0.36
	BT1	40-60	5.6±0.1	9.6±1.2	6.5±0.5	3.0±0.22	9	50	1.56	0.48	0.33
	BT2	60-80	5.8±0.1	6.1±0.7	7.1±0.5	3.4±0.26	11	63	1.29	0.31	0.25
	BT3	80-100	6.1±0.1	3.1±0.4	7.8±0.6	3.5±0.23	11	78	1.27	0.25	0.15
4АС	O(L)	0-1	5.2±0.1	55.0±7	43.2±3	11.3±0.8	54	50	Н.о.	Н.о.	Н.о.
	O(F+H)	1-3	5.7±0.1	42.9±5	34.5±3	4.8±0.4	39	48	0.35	0.20	0.08
	P1	3-10	4.6±0.1	12.2±1.5	1.3±0.12	0.4±0.04	2	12	0.64	0.39	0.27
	P2	10-25	5.0±0.1	9.2±1.1	1.2±0.11	0.4±0.04	2	15	0.69	0.32	0.20

	EL	25-35	5.4±0.1	6.3±0.8	1.9±0.17	0.6±0.06	2	29	0.71	0.34	0.22
	BEL	35-50	5.5±0.1	6.4±0.8	2.7±0.24	1.0±0.1	4	37	0.84	0.33	0.24
	BT1	50-70	5.7±0.1	7.4±0.9	9.3±0.7	3.3±0.24	13	63	1.17	0.28	0.33
	BT2	70-90	5.9±0.1	3.8±0.5	7.0±0.5	2.4±0.18	9	71	0.91	0.16	0.17
	BT3	90-110	6.1±0.1	2.4±0.3	6.5±0.5	1.9±0.19	8	78	0.78	0.12	0.12
	BT3	110-120	6.1±0.1	2.8±0.3	10.8±0.8	3.0±0.23	14	83	1.31	0.23	0.15

Hr+ – гидролитическая кислотность, н.о. – не определяли.

Приложение 3.3 – Гранулометрический состав постагрогеных почв.

№	Горизонт	Глубина, см	Гигр. влага, %	Потеря при обработке, %	Размер фракций (мм)						< 0.01
					1-0.25	0.25-0.05	0.05-0.01	0.01-0.005	0.005-0.001	< 0.001	
1АС	ELhi	8-15	1.4	0.5	25	23	32	8	2	10	20
	ELg1	15-30	1.3	0.3	27	31	24	5	3	10	18
	EL2	30-45	1.1	0.1	31	39	16	3	0	11	14
	BEL	45-60	3.1	0.5	25	21	18	6	5	25	36
	BT1	60-80	3.4	0.6	31	23	12	3	7	24	34
	BT2	80-100	4.1	1.1	16	27	14	6	8	29	43
2АС	P1	2-15	1.4	0.5	30	34	16	2	7	11	20
	P2	15-30	1.3	0.4	31	31	16	6	4	12	22
	BEL	30-45	2.2	0.6	25	34	13	6	5	17	28
	BT1	45-60	2.6	0.5	24	35	12	3	5	21	29
	BT2	60-80	3.0	0.4	24	35	12	3	5	21	29
	BT3	80-110	3.0	0.7	23	35	11	5	5	21	31
3АС	P1	2-10	1.6	0.4	32	24	22	5	6	11	22
	P2	10-20	1.3	0.4	31	28	21	4	6	10	20
	EL	20-30	1.3	0.4	31	34	12	5	8	10	23
	BEL	30-40	3.8	0.6	23	29	13	2	6	27	35
	BT1	40-60	3.8	0.7	20	28	12	5	6	29	40
	BT2	60-80	3.7	0.5	23	25	15	3	7	27	37
	BT3	80-100	3.8	0.7	25	26	14	3	6	26	35
4АС	P1	3-10	1.6	0.8	31	22	23	5	10	9	24
	P2	10-25	2.0	0.7	29	26	23	5	7	10	22
	EL	25-35	1.3	0.4	23	31	24	5	7	10	22
	BEL	35-50	1.5	0.3	34	30	16	1	8	11	20
	BT1	50-70	4.5	0.9	22	22	17	2	5	32	39
	BT2	70-90	2.6	0.7	36	31	8	4	1	20	25
	BT3	90-110	3.1	0.6	36	40	3	3	0	18	21
	BC	110-120	3.8	1.0	17	31	15	5	2	30	37

Приложение 3.4 – Физико-химические свойства исследуемых почв.

Гор.	Глубина, см	pH		Hг*	Обменные основания		V	C	N	C:N	Водорастворимые**		
		водн.	сол.		Ca^{2+}	Mg^{2+}					C	N	C:N
				смоль кг$^{-1}$			%				мг г$^{-1}$		
Подзол иллювиально-железистый (1АС(Р))													
O(L)	0-3	4.5	3.8	38.4	20.7	4.9	40	48.30	1.21	47	16.39 / 3.4	0.567 / 4.7	34
O(F)	3-7	4.2	3.2	49.2	21.5	4.1	34	50.00	1.33	44	7.55 / 1.5	0.340 /2.6	26
O(H)	7-9	4.0	2.9	57.5	11.7	2.0	19	43.30	1.17	43	5.19 / 1.2	0.247 / 2.1	25
E	9-20(35)	4.4	3.3	1.3	0.5	0.3	35	0.15	0.03	6	0.08 / 5.3	0.004 / 1.3	23
BF	20(35)-80	4.9	4.2	3.2	0.4	0.2	15	0.44	0.03	17	0.10 / 2.3	0.004 / 1.3	29
BC	80-120	5.2	4.2	1.7	0.6	0.3	36	0.15	0.03	6	0.05 / 3.3	0.002 / 0.7	29
Агродерново-подзол иллювиально-железистый (оподзоленный) (2АС(Р))													
P1	0-8	5.7	5.0	2.4	7.6	2.5	81	1.80	0.17	12	0.70 / 3.9	0.042 / 2.5	19
P2	8-18(20)	6.4	5.8	1.3	0.6	1.1	57	0.86	0.07	14	0.18 / 2.1	0.009 / 1.3	23
E	18(20)-35	6.8	5.8	0.4	0.6	0.4	73	0.15	0.03	6	0.04 / 2.7	0.004 /1.3	12
BF	35-60	6.3	4.5	4.1	0.9	0.8	29	1.24	0.06	24	0.09 / 0.7	0.004 / 0.7	26
BC	60-80	5.8	4.4	2.0	0.5	0.3	28	0.19	0.03	7	0.04 / 2.1	0.002 / 0.7	23
Подзолистая текстурно-дифференцированная (1-1АС)													
O(L)	0-2	5.4	4.3	35.1	24.0	4.2	44	28.4	1.19	28	6.99 / 2.5	0.433 / 3.6	19
O (F)	2-4	4.4	3.5	52.6	21.83	3.2	32	35.7	1.40	30	6.62 / 1.9	0.344 / 2.5	22
O(H)	4-5	4.1	3.1	61.6	16.6	3.0	24	27.9	1.01	32	4.44 / 1.6	0.230 / 2.3	23
ELhi	5-20	4.1	3.4	12.5	0.5	0.3	6	0.96	0.07	16	0.53 / 5.5	0.014 / 2.0	44
EL	20-30	4.8	3.7	10.8	1.2	0.9	16	0.29	0.03	11	0.27 / 9.3	0.009 / 3.0	35
BEL	30-40	4.8	3.5	11.5	5.6	2.7	42	0.25	0.03	10	0.07 / 2.8	0.002 / 0.7	41
BT1	40-70	4.9	3.5	8.7	26.0	5.7	78	0.20	0.03	8	0.05 / 2.5	0.002 / 7	29
BT2	70-100	4.9	3.7	5.0	14.6	6.8	81	0.15	0.03	6	0.04 / 2.7	0.002 / 0.7	23
C	100-140	6.0	3.9	3.2	15.8	6.8	87	0.14	0.028	6	0.02 / 1.4	0.002/ 0.7	12

Продолжение таблицы 1.

Агрозем текстурно-дифференцированный (1-2АС)

P1	0-10	5.2	3.9	5.1	4.5	1.4	53	1.61	0.15	13	0.43 / 2.7	0.025 / 1.7	20
P2	10-20	5.2	3.9	4.7	3.8	1.2	51	1.07	0.11	11	0.24 / 2.2	0.013 / 1.2	22
P3	20-33	5.2	3.8	4.4	3.2	1.1	49	0.48	0.06	9	0.09 / 1.9	0.005 / 0.8	21
BEL	33-43	5.1	3.7	6.8	4.6	2.0	49	0.19	0.03	7	0.10 / 5.3	0.006 / 2.0	19
BT1	43-60	4.9	3.6	6.4	8.5	4.0	66	0.18	0.03	7	0.04 / 2.2	0.002 / 0.7	23
BT2	60-80	4.9	3.7	5.1	11.0	6.9	78	0.15	0.03	6	0.04 / 2.7	0.002 / 0.7	23
BT3	80-100	5.1	3.8	3.6	9.2	5.8	80	0.12	0.03	5	0.03 / 2.5	0.002 / 0.7	18
C	100-120	5.2	3.8	3.6	10.5	6.6	83	0.13	0.03	5	0.03 / 2.3	0.003 / 1.0	12

* гидролитическая кислотность; **в числителе – абсолютные значения, в знаменателе – % от С общего.

Приложение 3.5 – Гранулометрический состав почв постагрогеных почв.

Горизонт	Глубина, см	Размер механических элементов (мм) и их содержание (%)						Сумма частиц < 0.01
		1-0.25	0.25-0.05	0.05-0.01	0.01-0.005	0.005-0.001	< 0.001	
Подзол иллювиально-железистый (1АС(Р))								
E	9-20(35)	40	51	3	4	0	2	6
BF	20(35)-80	39	49	5	0	0	7	7
BC	80-120	33	61	2	0	0	4	4
BC	80-120	32	61	3	0	0	4	4
Агродерново-подзол иллювиально-железистый (оподзоленный) (2АС(Р))								
P2	8-18(20)	38	51	5	1	0	5	6
E	18(20)-35	34	58	5	2	0	1	3
BF	35-60	35	56	1	2	0	6	8
BC	60-80	17	74	3	0	0	6	6
Подзолистая текстурно-дифференцированная (1-1АС)								
ELhi	5-20	2	31	35	8	10	14	32
EL	20-30	0	15	43	6	7	29	42
BEL	30-40	1	18	32	6	4	39	49
BT1	40-70	1	13	37	7	7	35	49
BT2	70-100	0	3	44	4	7	42	53
Агрозем текстурно-дифференцированный (1-2АС)								
P1	0-10	6	17	47	8	11	11	30
P2	10-20	5	30	38	6	9	12	27
P2	20-33	5	24	43	7	8	13	28
BEL	33-43	3	1	63	5	11	17	33
BT1	43-60	1	9	51	6	4	29	39
BT2	60-80	1	9	49	5	6	30	41
BT3	80-100	5	40	23	4	5	23	32
C	100-120	3	38	27	1	2	29	32