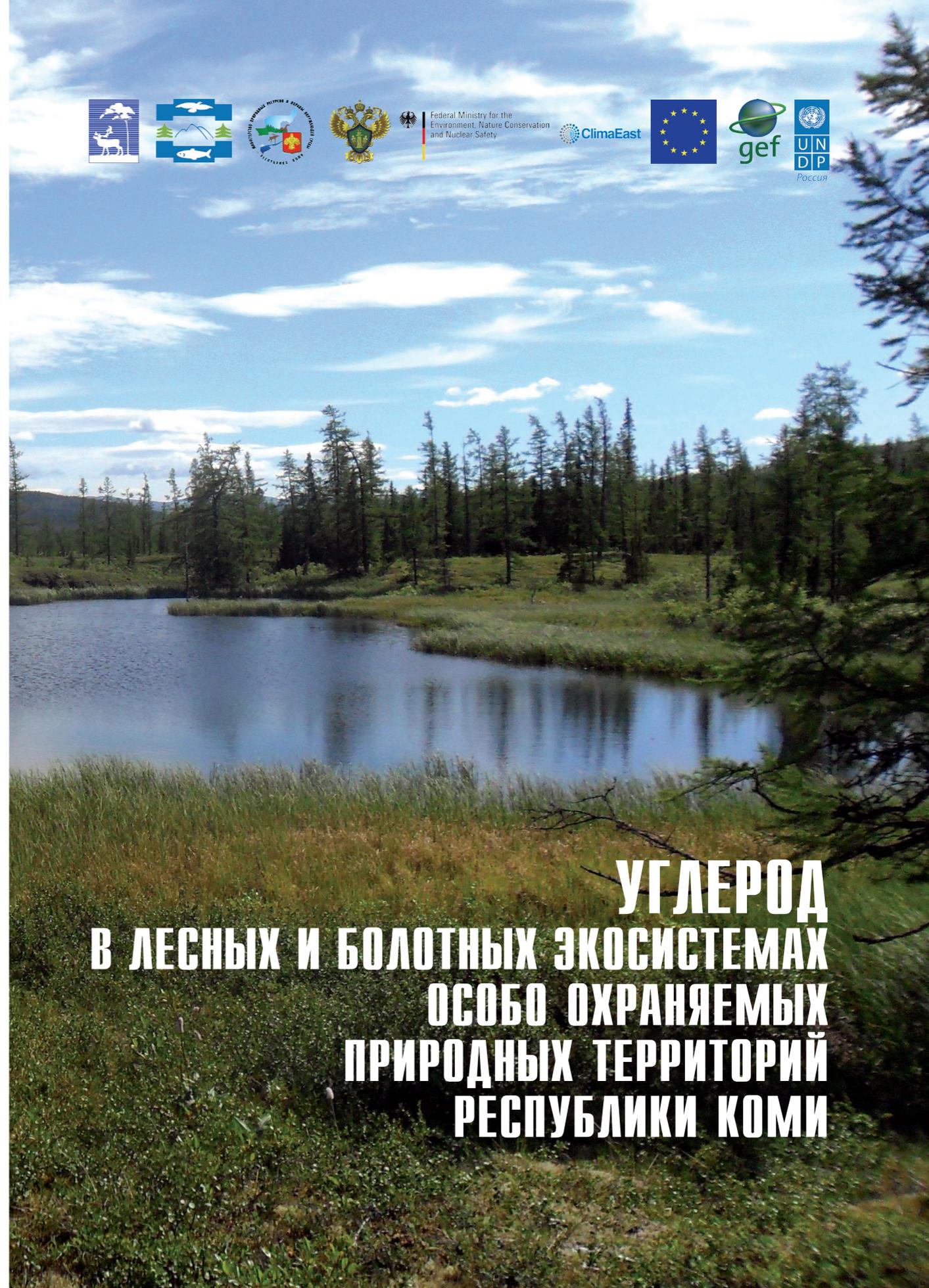




Углерод в лесных и болотных экосистемах ООПТ Республики Коми



Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety

ClimaEast



Россия

**УГЛЕРОД
В ЛЕСНЫХ И БОЛОТНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ
ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ
ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ
РЕСПУБЛИКИ КОМИ**

Российская академия наук
Уральское отделение
Коми научный центр
Институт биологии

**УГЛЕРОД
В ЛЕСНЫХ И БОЛОТНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ
ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ
ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ
РЕСПУБЛИКИ КОМИ**

Ответственные редакторы
доктор биологических наук, профессор К.С. Бобкова
доктор биологических наук С.В. Загирова

Сыктывкар
2014

УДК 630*182:581.526.35:546.26:502.4 (470.13)

Углерод в лесных и болотных экосистемах особо охраняемых природных территории Республики Коми. Сыктывкар, 2014. 202 с. (Коми НЦ УрО РАН).

В работе рассматривается фитоценотическое разнообразие лесных экосистем национального парка «Югыд ва», Печоро-Илычского биосферного заповедника, комплексных и лесных заказников северной и средней тайги Республики Коми. Показано видовое разнообразие растений болотных заказников «Пычимское» и «Угъюм». Определены резервуары углерода органического вещества в лесных экосистемах особо охраняемых природных территорий (ООПТ). Дана оценка эмиссии углекислого газа, метана из почв на ключевых участках лесных и болотных сообществ. Проведен анализ лесных пожаров за последние десять лет и рассчитана пожарная эмиссия углерода в лесах ООПТ. Дан сравнительный анализ роста сосны обыкновенной и сосны скрученной с целью создания углерододепонирующих плантаций. На основе математического моделирования определены тенденции изменения балансов углерода и азота в лесных экосистемах при возможных климатических изменениях.

Рецензенты

доктор биологических наук Д.Г. Замолотчиков
кандидат биологических наук Н.В. Орловская

Монография подготовлена при финансовой поддержке Глобального Экологического Фонда и Программы ООН в рамках проекта ПРООН/ГЭФ «Укрепление системы особо охраняемых природных территорий Республики Коми в целях сохранения биоразнообразия первичных лесов в районе верховий Печоры».

Программа развития Организации Объединенных Наций (ПРООН) является глобальной сетью ООН в области развития, выступающей за позитивные изменения в жизни людей путем предоставления странам-участницам доступа к источникам знаний, опыта и ресурсов.

Глобальный Экологический Фонд (ГЭФ) – это международный финансовый механизм предоставления грантов и льготных кредитов странам-получателям на осуществление проектов и деятельности, нацеленных на решение глобальных экологических проблем.

Мнение авторов необязательно отражает точку зрения ПРООН, других учреждений системы ООН и организаций, сотрудниками которых они являются.

ISBN 978-5-89606-515-9

© Программа развития ООН,
Глобальный экологический фонд, 2014
© Коми НЦ УрО РАН, 2014
© Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, 2014

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
Глава 1. Природные условия произрастания растительных сообществ в Республике Коми (К.С. Бобкова)	6
Глава 2. Пул и потоки углерода в лесных экосистемах ООПТ	18
2.1. Состояние проблемы. Методические подходы (К.С. Бобкова)	18
2.2. Запасы углерода в лесных экосистемах (А.В. Манов, В.М. Осипов, А.Ф. Осипов, М.А. Кузнецов, К.С. Бобкова)	25
2.3. Эмиссия углерода при пожарах на территории ООПТ (К.С. Бобкова, Н.В. Торлопова)	67
2.4. Эмиссия диоксида углерода в лесных экосистемах хвойных лесов средней тайги	79
2.4.1. Выделение CO_2 с поверхности почвы в сосняке чернично-сфагновом (А.Ф. Осипов)	79
2.4.2. Выделение CO_2 с поверхности почвы в ельнике чернично-сфагновом (М.А. Кузнецов)	87
Глава 3. Экспериментальные углерододепонирующие плантации сосны скрученной (А.Л. Федорков)	94
3.1. Сезонный рост растений на экспериментальных плантациях	96
3.2. Жизненное состояние и рост в высоту сосны скрученной	99
Глава 4. Прогноз динамики лесных экосистем ООПТ при изменении климата (метод математического моделирования) (А.С. Комаров, В.Н. Шанин)	102
4.1. Система моделей EFGMOD	102
4.2. Параметризация модели	106
4.3. Имитационные сценарии	108
4.4. Результаты и обсуждение	110
Глава 5. Разнообразие растительного покрова, запасы углерода и эмиссия парниковых газов в болотных экосистемах ООПТ средней тайги (Н.Н. Гончарова, С.В. Загирова, О.А. Михайлов, М.Н. Мигловец)	122
5.1. Биологическое разнообразие растительного покрова болот среднетаежной подзоны	123
5.2. Запасы органического вещества и углерода в напочвенном покрове болот среднетаежной подзоны	133
5.3. Сезонная динамика вертикальных потоков CO_2 в приземном слое атмосферы на мезоолиготрофном болоте	141
5.4. Эмиссия метана в растительных сообществах мезоолиготрофного болота	157
Заключение	164
Литература	166
Приложение 1. Таксационная характеристика объектов мониторинга	186
Приложение 2. Видовой состав и обилие растений и лишайников в еловых фитоценозах ООПТ	194
Приложение 3. Видовой состав и обилие растений и лишайников в сосновых фитоценозах ООПТ	197
Приложение 4. Видовой состав и обилие растений и лишайников в лиственничных фитоценозах	200

ВВЕДЕНИЕ

Бореальные леса располагаются преимущественно в Северном полушарии. По оценкам Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (FAO), площадь лесных земель в бореальной зоне составляет 1214 млн. га, из них 920 млн. га сомкнутых лесных насаждений (Global climate..., 2000). В России такие насаждения занимают 50-80% площади покрытых лесной растительностью земель государственного лесного фонда (Pisarenko, Strakhov..., 1996; Shvidenko et al., 1998). В лесном покрове Российской Федерации сосредоточено 65% бореальных лесов мира (Страхов и др., 2001).

Леса создают основной облик территории Республики Коми (РК). При общей площади лесного фонда РК 36.26 млн. га лесистость территории составляет 79%. Показатель лесистости РК выше среднего по России в целом (45.3%) и по европейской части России (49%) (Динамика показателей..., 2000). Площадь возможных для эксплуатации лесов в РК, в соответствии с лесным законодательством России, составила в 2010 г. 21.8 млн. га, из них 30% по площади и около 70% по запасу составляют спелые и перестойные насаждения (Лесное хозяйство..., 2000; Госдоклад..., 2011). Определенный лесоустройством размер ежегодного пользования древесиной в РК составляет 33.5 млн. м³. В 80-х гг. XX в. в республике ежегодно заготавливали 23-26 млн. м³ древесины, а в 2010 г. эти объемы составили 7.4 млн. м³. Следует также подчеркнуть, что лес, как сложная многокомпонентная система, участвует во многих процессах, протекающих в биосфере, обеспечивая за счет трансформации потоков энергии и биогенного круговорота элементов относительную стабильность в изменении газового состава атмосферы, состояния почвенного покрова. Значительна средообразующая роль растительных сообществ лесного фонда ООПТ РК.

На любом уровне леса взаимодействуют с тремя группами факторов: природными, техногенными и антропогенными (Страхов, 1993). Действие природных факторов (пожары, эпифитотии болезней, очаги размножения насекомых и т.д.) на состояние лесных экосистем РК находится в пределах нормы. Техногенные и антропогенные факторы стали значимыми для лесных сообществ республики только в XX в. (Лесное хозяйство..., 2000).

С целью сохранения благоприятной экологической обстановки в регионе и ее разнообразных природных комплексов в настоящее время на территории РК выделены 238 комплексных, лесных, флористических, луговых, болотных, ихтиологических, орнитологических и геологических заказников. На ее территории располагаются Печоро-Ильчский государственный заповедник и национальный парк «Югыд ва». Площадь ООПТ занимает 13.5% общей площади республики (Биологическое разнообразие..., 2012). Лесопокрытая площадь ООПТ РК составляет 231.3 тыс. га (<http://www.agiks.ru/patterns/LX-40/current/index.htm>). На долю особо охраняемых болот приходится 1.34% от общей площади территории республики, что составляет 17.5% торфяного фонда региона (Особо охраняемые..., 2011). Болотные экосистемы являют-

ся хранилищем значительных запасов органического вещества в виде торфа, играют важную роль в круговороте углерода в биосфере и поддержании гидрологического режима рек.

В республике разрабатывается проект Программы развития ООН и Глобального экологического фонда (ПРООН/ГЭФ) «Укрепление системы особо охраняемых природных территорий Республики Коми в целях сохранения биоразнообразия первичных лесов в районе верховьев реки Печора» (2008-2014 гг.), целью которого является создание представительной и эффективно управляемой системы ООПТ, обеспечивающей сохранение экосистем первичных лесов в республике. Выполнение этого проекта способствует сохранению устойчивости биоразнообразия ценных бореальных лесов и болот. В рамках этого проекта в 2009-2011 гг. выполнены работы по оценке пулов и потоков углерода и организации долгосрочного экологического мониторинга на ООПТ РК. Результаты исследований представлены в данной монографии.

Цель данной работы – оценка разнообразия фитоценозов и определение пулов и потоков углерода в лесных и болотных экосистемах ООПТ РК. В книге представлены результаты исследований на значительной части территорий ООПТ РК: Якшинского и Верхне-Печорского участковых лесничеств Печоро-Илычского государственного заповедника, национального парка «Югыд ва», комплексных, лесных заказников «Сэбысь», «Удорский», «Верхне-Вашкинский», «Белая Кедрва», «Гажаягский», «Синдорский», «Белый», «Белоборский», «Верхне-Локчимский», «Ляльский», болотных заказников «Пычимский» и «Угъюм». Дана оценка фитоценотического разнообразия лесных растительных сообществ. Описаны флора и запасы органического вещества в растениях болотных фитоценозов. Определены резервуары углерода в лесных экосистемах рассматриваемых ООПТ и выявлены основные закономерности эмиссии углекислого газа из почв на ключевых участках лесных и болотных сообществ. Дан анализ динамики лесных пожаров за последние десять лет и рассчитана пожарная эмиссия углерода в лесах рассматриваемых ООПТ. Изучен рост сосны скрученной и сосны обыкновенной – древесных растений, представляющих интерес для создания углерододепонирующих плантаций. На примере лесных заказников «Ляльский» и «Белый» составлен прогноз динамики экосистем ООПТ при изменении климата.

Авторы выражают благодарность сотрудникам Печоро-Илычского биосферного заповедника, национального парка «Югыд ва», Комитета лесов Республики Коми, коллективу отдела лесобиологических проблем Севера за помощь в сборе экспериментального материала.

Глава 1. ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ ПРОИЗРАСТАНИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ В РЕСПУБЛИКЕ КОМИ

В геоморфологическом отношении территория Республики Коми делится на две основные части – западную равнинную и восточную горную. Равнинная относится к Русской платформе с преимущественно пологим залеганием палеозойских и мезозойских горных пород, горная – к складчатому сооружению Уральских гор. Основные формы рельефа республики отражают элементы доледниковой поверхности (Девятова, 1963). В формировании современного рельефа большое значение имела деятельность экзогенных факторов: ледниковой и водно-ледниковой эрозии и аккумуляции, речной эрозии. На ее территории выделяется пять крупных орографических областей: восточная часть Онего-Двино-Мезенской области, именуемая в пределах Республики Коми Вычегодско-Мезенской равниной, Северные Увалы, Тиманский кряж, Печорская равнина и западные склоны Урала (Зеккель, 1963; Атлас..., 1964).

Для Вычегодско-Мезенской равнины характерны обширные водораздельные плато с преобладающими высотами 150-200 м над ур.м. Равнина имеет общий уклон на запад и северо-запад. Бассейн Мезени отделяется от бассейна р. Вычегды водораздельным плато с высотами от 265 м. Мезенская равнина имеет средние высоты 100-150 м. Равнина Вычегодского бассейна полого-увалистая с абсолютными высотами от 80 до 200 м, подымается в сторону Тимана и Северных Увалов. В пределах равнины выделяются три древние низины-впадины: Верхне-Вычегодская, Вишерская и Верхне-Вымская, высотой менее 100 м, заполненные водно-ледниковым песчаным материалом. Эрозионная деятельность гидрографической сети проявляется в Мезено-Вычегодской области сильнее, чем в Печорской.

В южной части Республики Коми проходят отроги Северных Увалов с высотами 200-270 м. Это повышенная денудационно-аккумулятивная полого-холмистая равнина, расчлененная истоками рек Лузы, Летки, Сысолы, Вычегды, притоков Камы. Тиманский кряж представляет собой полосу сглаженных денудационных возвышенностей, вытянутых с юго-востока на северо-запад и служащих водоразделом бассейнов рек Мезени, Вычегды и Печоры. Возвышенности сильно размыты, их преобладающая высота 200-250 м, лишь по осевой части кряжа обнажаются гряды коренных пород высотой 400-470 м. Рельеф приобретает полугорный характер, это выражено на Северном Тимане, где возвышаются Косминский и Челаский Камни, Каменноугольная гряда. Выходы коренных пород наблюдаются на возвышенности Джеджим Парма и Очъ-Парма высотой до 325 м над ур.м. Там, где близко к поверхности подходят карбонатные породы, развиты карстовые формы рельефа в виде воронок, пересыхающих долин с небольшими пещерами. Карстовые проявления наблюдаются в верховьях р. Вычегды, у истоков Белой и Черной Кедвы, в верховьях р. Выми.

Печорская равнина расположена между Тиманом и Уралом и представляет собой обширную область опускания земной коры, заполненную четвертичными отложениями. Рельеф обусловлен в основном ледниковой аккумуляцией и последующей водной эрозией. Равнина имеет общий уклон к северу, отметки поверхности водоразделов – 150-180 м. К югу от широтного участка русла Печоры низменность повышается, образуя Ижмо-Печорский водораздел, в основном плоский, лишь местами на нем встречаются аккумулятивные холмы ледникового происхождения. Более рассеченный увалисто-холмистый рельеф наблюдается в районе Айювинской и Большекежвинской возвышенностей.

Уральский хребет по орографии разделяется на Полярный, Приполярный и Северный. Полярный Урал представляет скалистую горную систему высотой 800-1200 м, с отдельными вершинами до 1500 м. В его центральной части наряду с плосковершинными образованиями возвышаются остроконечные вершины, развиты нагорные террасы и ступени, кары, троговые сквозные долины. Приполярный Урал является наиболее возвышенной частью Урала. Здесь расположены такие вершины, как г. Народа – 1883 м, г. Карпинского – 1793 м, г. Колокольня – 1700 м и др. На Северном Урале высота горных вершин составляет 700-1200 м. На западных склонах Урала, параллельно главному водораздельному хребту, протянута цепь узких возвышенных «парм» высотой 250-700 м. Наиболее значительна по протяженности и высоте Бджыд-Парма (600 м), к северу от нее дислоцированы менее высокие Ичет-Парма, Овин-Парма, Мертвая Парма. Эти возвышенности отделяются от главного хребта меридионально вытянутыми глубокими понижениями, представляющими неширокие речные долины.

Таежная зона на территории Республики Коми подразделяется на подзоны: крайнесеверную, северную, среднюю и южную. В почвенном покрове подзональные особенности наиболее четко просматриваются в ряду автоморфных почв дренированных ландшафтов приречных увалов под зеленомошными еловыми лесами. В крайнесеверной и северной тайге – это глееподзолистые почвы, в средней – типичные подзолистые, для тех и других характерно отсутствие дернового процесса, в южной подзоне тайги развиты дерново-подзолистые почвы (Атлас..., 1964; Атлас почв..., 2010).

Крайнесеверная подзона тайги. Территория находится на севере Русской равнины и имеет относительно выровненный рельеф. Распространены заболоченные низменности с всхолмлениями, грядами, озерами и болотами. Кристаллический фундамент залегает на глубине 1.5-6 км под палеозойскими и мезозойскими породами, прикрытыми ледниковыми и морскими отложениями. На Тиманском кряже на поверхность выходят метаморфические и вулканические породы. В северной части Печорской низменности рельеф холмисто-грядовой, южнее преобладают равнины, покрытые флювиогляциальными песками, супеями, суглинками. Выделяется заболоченная Малоземельская тундра. К востоку от Печоры раскинулась Большеземельская тундра с множеством болот и озер и грядами-мусюрами. С юга к Печоре примыкает Ижмо-Печорская равнина с всхолмленным рельефом. Заболоченная Припечорская низменность лежит к югу от р. Усы. Предгорья Урала сложены палеозойскими, а предуральский краевой прогиб – пермскими и триасовыми отложениями (валунные суглинки, галечники, сланцы, песчаники и др.). Рельеф увалистый, расчленен, заболоченность невелика. Предгорья Урала, кряжи Чернышева и Тиманский, Печорская гряда – приподнятые волнисто-увалистые денудаци-

онные равнины с карстовыми формами рельефа (Атлас..., 1964). Реки находятся подо льдом шесть-семь месяцев, сильно мелеют летом. Наиболее крупные из них – Печора, Уса. В результате избытка влаги после отступления ледника в разломах, трещинах и карстовых полостях образовались озера.

Климат холодный и влажный с неустойчивой погодой. В любой из летних месяцев возможно выпадение снега и заморозки. Суммарная солнечная радиация не более 70 ккал см⁻² в год. Облачность снижает поступление прямой солнечной радиации на 65-80% и в 1.5-2 раза увеличивает рассеянную (Чертовской и др., 1978). Самым теплым месяцем является июль, когда воздух прогревается до +33...+34 °С; наиболее холодными – январь и февраль. Вегетационный период продолжается с конца мая – начала июня до сентября. За год выпадает от 570 до 700 мм (предгорья Урала) осадков, из них 65-70% – в теплое время года. Снеговой покров появляется в октябре. Зимой преобладают ветры с южной составляющей, в теплое время – с северной. Наибольшие скорости ветров наблюдаются зимой, наименьшие – в июле и августе. Некоторые средние климатические показатели приведены в табл. 1.1 (использованы данные всех метеостанций таежной зоны РК).

Абсолютные высоты равнин не превышают 200 м. Почвообразующими породами служат моренные суглинки, местами перекрытые супесями и песча-

Таблица 1.1

**Климатические характеристики Республики Коми по растительным подзонам
(Справочник по климату..., 1965, 1968)**

Характеристики	Подзона тайги			
	Крайне-северная*	Северная	Средняя	Южная
Среднегодовая температура воздуха, °С	-2.0...-3.2	-1.5... -2.5	-1.3... +0.4	+0.6...+1.0
Средняя температура января, °С	-17...-18	-17...-19	-15...-17.5	-14...-15
Средняя температура июля, °С	+13...+15	+14.5...+16	+15.5...+16.5	+16.5...+17
Количество дней с температурами <0 °С	200–215	197–205	175–185	165–170
Продолжительность безморозного периода, дни	75–85	80–85	80–110	более 100
Начало безморозного периода со среднесуточной температурой >0 °С	I–II декада мая	III декада апреля	I–II декада апреля	I декада апреля
Даты перехода среднесуточной температуры через +5 °С (весна)	01 июня	20 мая	03 мая	27 апреля
Продолжительность вегетационного периода (дни с t>+5 °С)	110–130	120–140	140–150	150–170
Период активного роста растительности (дни с t>+10 °С)	65	75–85 (II половина июня–конец августа)	90–100 (начало июня–II декада сентября)	100–110
Сумма температур ≥+5 °С	1180–1250	1300–1600	1600–1800	2000
Сумма температур ≥+10 °С	850–920	1000–1200	1300–1420	Более 1500
Количество осадков, мм	570–650	600–750	670–790	690–800
Испарение за год, мм	150–200	175–190	200–270	270–300
Продолжительность со снежным покровом, дни	205–210	190–210	180–190	165–170
Гидротермический коэффициент (по Т.Г. Селянинову)	1.3–2.0	1.5–1.7	1.5–1.8	1.5–1.7

* Притундровые леса.

ми, а также слоистые песчаные и песчано-суглинистые водно-ледниковые и озерно-аллювиальные отложения. Преобладают болотно-подзолистые и глееподзолистые почвы.

Долины рек хорошо развиты. Характерно наличие болот, преимущественно верховых, сфагновых. Горные реки отличаются высокой водоносностью даже в межень. Много крупных верховых сфагновых и аапа-болот, среди которых выделяется крупнейшее Усинское болото аапа-типа. Все реки относятся к бассейну Карского моря (Атлас..., 1964, 1997).

Северная подзона тайги. Территория этой подзоны находится в границах Печорской северотаежной провинции и в геоморфологическом отношении представляет собой водно-ледниковую равнину в зоне второго Рисского (Московского) оледенения, переработанную денудацией и водно-аккумулятивными процессами. На фоне этой равнины выделяются озерно-ледниковые и моренные участки со слабовыраженным холмисто-грядовым рельефом (Варсанофьева, 1953). Коренные породы представлены в основном юрскими нерасчлененными отложениями и только в западной части региона – нижним отделом меловой системы. Обнажения коренных пород наблюдаются лишь в предгорьях Урала и Тимана. На остальной же территории они прикрыты мощным пластом четвертичных отложений. Четвертичные образования представлены в основном флювиогляциальными супесями и песками, подстилаемыми с 40-80 см моренными суглинками. Реже встречаются четвертичные отложения в виде моренных суглинков и озерно-ледниковых глин (Чернов, 1953). Абсолютные высоты составляют не более 200 м. Общий рельеф слабо холмистый или пологоувалистый, наиболее расчлененный вблизи рек. Значительные площади занимают низинные заболоченные депрессии. Имеются небольшие увалистые возвышенности.

Район с умеренно-холодной зимой и прохладным летом, со сравнительно коротким безморозным периодом, с большой изменчивостью сумм осадков, их повышенным количеством (особенно в Предуралье), со значительными колебаниями величин климатических элементов по территории. Среднегодовая температура воздуха лежит в пределах $-1.5...-2.5$ °С. Период с отрицательными температурами воздуха длится 6-6.5 месяцев. Средняя температура января $-17...-19$ °С, июля $+14.5...+16$ °С. Продолжительность безморозного периода – 80-85 дней. Вегетационный период длится 120-140 дней, период активного роста растительности – 75-85. Сумма температур выше $+5$ °С – 1300-1600 °С, выше $+10$ °С – 1000-1200 °С. Средняя сумма осадков за год – 600-750 мм. В теплый период года (апрель-октябрь) выпадает до 65% осадков. Снежный покров устанавливается 25 октября–1 ноября и лежит 190-210 дней. Увлажнение избыточное, гидротермический коэффициент по Т.Г. Селянинову равен 1.5-1.7. Величины испарения небольшие – 175-190 мм год⁻¹.

В северной тайге преобладают глееподзолистые, торфяно-подзолисто-глевые почвы в сочетании с грядово-мочажинными сфагновыми болотами. На борových террасах Печоры и ее притоков формируются иллювиально-железисто-гумусовые подзолы в сочетании с болотно-подзолистыми иллювиально-гумусовыми почвами в понижениях.

Реки региона по условиям водоснабжения относятся к таежным равнинным, на востоке – к горным. На территории подзоны северной тайги протекают реки: Вашка (среднее течение), Мезень (верховья и среднее течение), Вымь (верховья), Печора (среднее течение), ее левые притоки – Ижма (среднее и нижнее течение), верховья Пижмы и горные правые притоки – Подчерем,

Щугор, верховья рек Илыч и Косью. Реки Вашка, Мезень, Вымь относятся к бассейну Белого моря. Остальные водные системы – к бассейну Карского моря. Много болот. Они преимущественно верховые, сфагновые, грядово-мочажинные. Одно из крупнейших болот Джчер Нюр находится в междуречье Вель-Ю и Ижмы (Атлас..., 1964, 1997).

Средняя подзона тайги занимает территорию южнее северной тайги до 60° с.ш. Это умеренно-теплый район, который включает в себя юго-восточную часть Тиманского кряжа, водоразделы Вычегодско-Мезенский и Вычегодско-Сысольский, бассейны верхней Вычегды и верхней Печоры, рек Локчим и Кельтма. В их основании лежат докембрийские кристаллические породы, перекрытые толщей малонарушенных осадочных пород. Водораздельные пространства сложены пермскими песчаниками, глинами мергелями триасовой системы. Эти породы перекрыты четвертичными отложениями московского оледенения. В западной половине подзоны выделяются Вашко-Мезенская возвышенность с абсолютными отметками до 200 м и Вычегодский район волнистых равнин со средними высотами 100-130 м. Рельеф в основном равнинный, увалистый. В северной части есть низменности, наиболее крупной из которых является Синдорское озеро с прилегающими болотами. Восточная половина территории представлена плоским плато с высотами 160-200 м – Северные Увалы. Рельеф расчленен речными долинами.

Средняя тайга относится к прохладному и умеренному прохладному агроклиматическому району. Среднегодовая температура воздуха равна $-1.3...+0.4$ °С. Период с отрицательными температурами воздуха длится 175-185 дней. Средняя температура января $-15...-17.5$ °С, июля $+15.5...+16.5$ °С. Продолжительность безморозного периода – 80-110 дней. Вегетационный период длится 140-150 дней, период активного роста растительности – 90-100. Сумма температур выше +5 °С – 1600-1800 °С, выше +10 °С – 1300-1420 °С. Средняя сумма осадков за год – 670-790 мм. В теплый период года (апрель-октябрь) выпадает до 65% осадков. Снежный покров устанавливается в первой декаде ноября и лежит 180-190 дней. Увлажнение избыточное, гидротермический коэффициент по Т.Г. Селянинову равен 1.5-1.8. Величины испарения небольшие – 220-270 мм год⁻¹ (см. табл. 1.1).

Основную центральную часть территории занимает бассейн р. Вычегда с ее притоками: правыми – это среднее течение рек Вымь (с Елвой) и Вишера (с Нившерой), и левыми – реки Нем, Северная Кельтма, Локчим, Сысола, Пожег. Вместе с частью бассейнов верхнего и среднего течения рек Вашка и Мезень (на северо-востоке территории) вся перечисленная речная система относится к бассейну Белого моря. Восточная и северо-восточная части региона относятся к бассейну реки Печора с горными реками Илыч (правый приток) и Унья (левый приток). В подзоне средней тайги находятся также верховья реки Ижма и река Ухта в своем среднем и нижнем течении. Долины равнинных рек хорошо развиты. Гидрографический режим рек средней тайги аналогичен режиму рек северной тайги. Болота преимущественно верховые сфагновые, но есть и переходные, и низинные. Особенно крупные массивы болот расположены в районе оз. Синдорское и вблизи среднего течения р. Нившера (Атлас..., 1964, 1997).

Южная подзона тайги расположена южнее 60° с.ш., занимает самую южную часть Республики Коми. Район с умеренно-холодной зимой, теплым летом, сравнительно длительным безморозным периодом, с достаточным количеством осадков и довольно большими величинами испарения. Среднегодовая

температура воздуха лежит в пределах $+0.6...+1.0$ °С. Период с отрицательными температурами воздуха длится 165-170 дней. Средняя температура января $-14...-15$ °С, июля $+16.5...+17.0$ °С. Продолжительность безморозного периода более 100 дней. Вегетационный период длится 150-170 дней, период активного роста растительности – 100-110. Сумма температур выше $+5$ °С – около 2000 °С, выше $+10$ °С – более 1500 °С. Средняя сумма осадков за год – 690-800 мм. В теплый период года (апрель-октябрь) выпадает до 65% осадков. Снежный покров устанавливается во второй декаде ноября и лежит 165-170 дней. Увлажнение избыточное, гидротермический коэффициент по Т.Г. Селянинову равен 1.5-1.7. Величины испарения – 270-300 мм год⁻¹ (см. табл. 1.1).

Рельеф территории, характерный для волнистых равнин с высотами 100-130 м, к югу сменяется плоскими возвышенностями Северных Увалов с высотами 200-250 м. Это хорошо дренированная моренная равнина. Заболоченность незначительна. В почвенном покрове ведущее место занимают слабодерновоподзолистые и типичные подзолистые почвы. Менее дренированные участки водоразделов заняты подзолисто-глееватыми и торфянисто-подзолисто-глееватыми почвами.

Подзона охватывает небольшие части бассейнов рек Сысола, Луза (бассейн Белого моря), Кобра, Летка (бассейн Каспийского моря). Долины рек широки и хорошо разработаны. По условиям водоснабжения все реки относятся к таежным равнинным. Их гидрографический режим аналогичен режиму равнинных рек северной и средней тайги. Болот почти нет. Встречающиеся иногда мелкие болотца относятся к низинным или переходным (Атлас..., 1964, 1997).

В древних впадинах по бортовым террасам рек преобладают кварцевые пески. По склонам водораздельных увалов выделяются значительные массивы супесей. Большая часть почвообразующих пород имеет кислую реакцию среды и сравнительно невысокую емкость обмена.

Почвы. Согласно представленным материалам И.В. Забоевой (1975, 1999), в тундровой зоне наличие «вечной» мерзлоты, суровость климата и криогенные процессы способствуют формированию пятнисто-бугорковатого микро рельефа, создающего мелкоконтурный почвенный покров с характерными сочетаниями комплексов тундровых поверхностно-глеевых почв. В лесотундре, в переходной полосе от тундры к тайге, на безлесных водоразделах развиты тундровые болотные и тундровые торфяно-торфянисто-глеевые оподзоленные почвы; по приречным увалам под елово-березовыми редколесьями с ерничково-моховым покровом формируются глееподзолистые потечно-гумусовые почвы. В результате процессов оглеения высокую подвижность приобретают органо-минеральные комплексы с оксидами железа. Особенностью этих почв является оглеение подзолистого горизонта и высокое содержание в нем (до 3-5%) подвижных гумусовых веществ типа фульвокислот, поступающих из подстилки.

В среднетаежной подзоне по приречным дренированным увалам, в условиях естественного дренирования, под зеленомошными ельниками на суглинистых почвообразующих породах формируются типичные подзолистые почвы. Распространены гумусово-железистые подзолы, торфянисто- и торфяно-подзолисто-глеевые иллювиально-гумусовые почвы. В восточной части – типичные подзолистые почвы в сочетании с торфянисто-подзолисто-глееватыми и торфяно-подзолисто-глеевыми.

На самом юге Республики Коми идет постепенный переход к дерново-подзолистым почвам южно-таежной подзоны, занимающей в республике незначительную площадь. Дерново-подзолистые почвы формируются под кислотно-зеленомошными ельниками.

На водораздельных пространствах Республики Коми господствуют болотно-подзолистые почвы. Они широко распространены на слабодренированных равнинных увалах, пологих склонах под смешанными елово-сосновыми долгомошными лесами. Водный режим застойно-промывной, заболачивание происходит под влиянием застойного атмосферного увлажнения. Выделяются два типа таких почв: торфянисто-подзолисто-глееватые и торфяно-подзолисто-глееватые. На песчаных почвообразующих породах в условиях избыточного поверхностного увлажнения под долгомошно-сфагновыми сосняками образуются болотно-подзолистые иллювиально-гумусовые почвы.

Болотные почвы занимают небольшие площади республики. Образование торфяников на территории Республики Коми относится к раннему голоцену. В этом периоде сформировались крупные массивы реликтовых торфяников тундры и лесотундры.

Торфяно-болотные почвы верховых болот представлены в республике наиболее широко, к северу их площадь возрастает. Приурочены к плоским водоразделам и межувалистым понижениям, в которых застаиваются атмосферные осадки. Мощность торфа 1-2.5 м, лесная растительность отсутствует, в покрове сфагновые мхи, клюква, морощка, багульник. Торф слаборазложившийся, кислый, малозольный. Верховые болота имеют водоохранное значение. Перегонно-болотные почвы низинных болот развиты в поймах рек в притеррасных понижениях.

По современным представлениям, основанным на палеоботанических данных, начало формирования древних почв Русской равнины относится к рубежу плейстоцена, характеризуется сменой гиперзональной перигляциальной ландшафтной обстановки на близкую к современной зональной, вызванной потеплением климата. Палинологами отмечается, что на европейском Северо-Востоке в период климатического оптимума не было столь существенного потепления климата, как на Русской равнине (Никифорова, 1980). После перигляциальных лесотундр позднеледниковья почвы европейского Северо-Востока формировались под воздействием лесной растительности. Во все эпохи голоцена главной лесообразующей породой здесь была ель. Палинологические данные свидетельствуют о древности темнохвойных лесов на северо-востоке Европы, обусловленной длительно существовавшим здесь прохладным и влажным климатом, сходным с климатом современной таежной зоны. Основываясь на палеоботанических материалах, можно предположить, что почвообразование в голоцене на этой территории развивалось под хвойными лесами по подзолистому типу.

Растительность. Лес – тип растительности, состоящий из совокупности древесных, кустарниковых, травянистых и других форм растений, включающий различные виды животных и микроорганизмов, биологически взаимосвязанных в своем развитии и влияющих друг на друга и на внешнюю среду (Лесная энциклопедия, 1985).

В Республике Коми в широтном направлении лесные формации распространены в лесотундре и во всех четырех (крайнесеверной, северной, средней и южной) подзонах тайги. В долготном направлении они приурочены к низинным и пологоувалистым ландшафтам Русской равнины, а в восточной части

республики – к горным системам Северного и Приполярного Урала (Атлас..., 1964). Структура и зональное распределение лесов в свою очередь зависит от климатических факторов, почвенного плодородия, гидрологического режима, т.е. от целого ряда экологических факторов. Все эти компоненты образуют биогеоценоз – незамкнутую систему живых и косных составляющих, взаимодействующих путем обмена веществом и энергией на определенной территории (Сукачев, 1964).

Общая площадь земель лесного фонда Республики Коми на 01.01.2012 г. составляет 36262.3 тыс. га, или 87.2% территории республики. Кроме того, 2656.7 тыс. га занимают леса, не входящие в лесной фонд (земли обороны и безопасности – 4.0 тыс. га; земли населенных пунктов, на которых расположены городские леса – 6.2; земли особо охраняемых природных территорий – 2613, в том числе национального парка «Югыд ва» – 721.3; земли иных категорий – 33.5 тыс. га). Величина лесистости в отдельных районах республики различна и зависит от физико-географических, климатических, почвенных условий. Средняя лесистость по республике составляет 79% (Государственный доклад..., 2011).

Лесопокрытая площадь республики составляет 30.24 млн. га (рис. 1.1). Наибольшую площадь (55%), а также запас среди хвойных насаждений имеют древостои ели, которые широко распространены во всех подзонах тайги и произрастают почти на всех встречающихся в республике почвах, кроме торфяников и песчаных сухих почв. Второе место среди насаждений хвойных пород принадлежит сосне. Сосновые насаждения занимают четвертую часть покрытых лесной растительностью земель республики (24%). Благодаря невысокой требовательности к почвенным условиям сосна произрастает в самых различных условиях на сфагновых торфяниках, суглинистых почвах склонов моренных гряд и на песчаных террасах. На долю березы приходится 16.5% покрытых лесной растительностью земель республики. Сплошные концентрированные, сплошнолесочные рубки и пожары явились основными факторами, способствующими возникновению на значительных площадях березовых насаждений.

В подзоне крайнесеверной тайги сосредоточено 8.7%, северной – 29, средней – 46.2, южной – 7.8% лесопокрытой площади. Изменение лесорастительных условий в широтном направлении приводит к уменьшению удельного веса хвойных, особенно еловых, лесов с севера на юг (табл. 1.2).

Лесные сообщества на территории республики представлены большим числом ассоциаций и типов экосистем. Исследователи, изучавшие типологическую структуру лесных сообществ на европейском Северо-Востоке нашей страны (Ла-

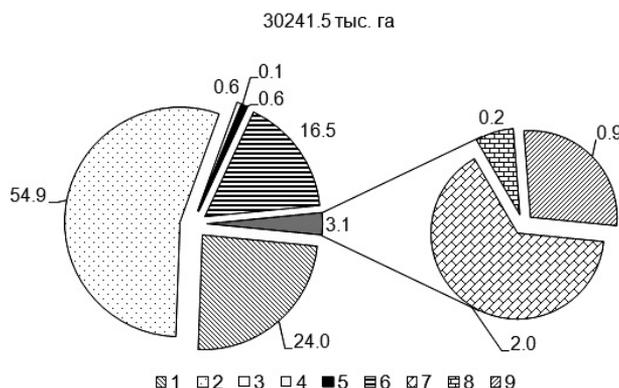


Рис. 1.1. Распределение лесопокрытой площади Республики Коми по породам, %: 1 – сосна, 2 – ель, 3 – лиственница, 4 – кедр, 5 – пихта, 6 – береза, 7 – осина, 8 – ольха, 9 – ива.

Таблица 1.2

**Распределение лесопокрытой площади по растительным зонам
и преобладающим породам, % (Лесное хозяйство..., 2000)**

Порода	Растительная зона			
	Крайнесеверная	Северная	Средняя	Южная
Сосна	11.2	25.7	31.1	26.8
Ель	70.2	60.2	49.9	37.5
Береза	15.6	11.0	16.1	23.8
Осина	–	0.2	1.8	11.8
Лиственница	2.1	0.9	0.2	–
Кедр	–	1.0	0.3	–
Прочие	0.9	1.9	0.8	–

щенкова, 1954; Юдин, 1954; Лазарев, 1966; Рысин, 1975; Львов, Ипатов, 1976; Чертовской, 1978; Мартыненко, 1999; Дегтева, 1999; Рысин, Савельева, 2002 и др.), отмечают, что здесь встречаются почти все типы, представленные в эдафо-фитоценотической схеме леса (Сукачев, 1931). В лесных массивах республики охарактеризовано 45 типов леса и 274 ассоциации (Леса Республики Коми..., 1999).

В данной работе мы ограничимся лишь общими сведениями о типах лесных насаждений Республики Коми, необходимых для правильной интерпретации результатов исследований на ООПТ. Краткая характеристика типологического состава лесов региона дана на основе анализа материалов лесоустройства лесничеств на территории республики (табл. 1.3).

Согласно районированию северных лесов европейской части России (Семенов, Цветков, 1990; Семенов и др., 1998), территория крайнесеверной тайги относится к Восточно-Европейской притундровой области Печорской и

Таблица 1.3

**Распределение основных лесообразующих пород по группам типов леса
в лесорастительных подзонах тайги Республики Коми, %***

Подзона тайги	Лишайниковая	Зеленомошная	Травяная	Долгомошная	Сфагновая
Ель					
Притундровая	4.8	21.6	7.7	20.7	45.7
Северная	0.4	48.9	–	34.5	16.2
Средняя	0.2	53.5	4.8	30.8	10.7
Южная	–	81.3	7.8	4.4	6.5
Сосна					
Притундровая	18.0	34.0	–	10.0	39.0
Северная	20.5	33.8	–	8.4	37.3
Средняя	13.9	47.6	–	12.2	26.3
Южная	–	91.2	–	6.9	1.9
Береза					
Притундровая	1.5	45.3	14.0	10.7	40.7
Северная	0.8	64.5	11.1	26.3	8.4
Средняя	0.4	79.7	1.8	14.0	4.1
Южная	–	86.0	9.0	–	5.0

* На основании анализа лесоустроительных материалов лесничеств.

Уральской провинций. Леса данной подзоны характеризуются небольшим набором лесообразующих пород. Господствуют еловые леса, которые занимают 70.2% покрытой лесом площади. Доля лесов сосновой формации составляет 11.2%, березовой – 15.6, лиственничной – 2.1%. Осиновая, ивовая, ольховая формации занимают вместе 0.9% (Лесное хозяйство..., 2000). Суровость климатических условий не благоприятствует накоплению большого количества древесины. Леса в основном относятся к **V-Va классам бонитета, формируются** древостой с полнотой 0.3-0.6 и запасом древесины 70-100 м³га⁻¹. Хвойные сообщества представлены в основном ассоциациями зеленомошной и сфагновой групп типов (см. табл. 1.3). Лишайниковые типы лесных сообществ занимают верхние и средние части холмов на сухих песчаных и супесчаных хорошо дренированных почвах. Леса рассматриваемой подзоны выполняют значительную климаторегулирующую и климатозащитную функцию.

Еловые леса северной тайги представляют самовозобновляющиеся экологические системы. Лесные массивы этой подзоны относятся в основном к эксплуатационной группе лесов. Типологический состав и структурные особенности северотаежных еловых лесов определяются неблагоприятными условиями обитания, вызывающими ослабление эдификаторной роли ели. Преобладают леса зеленомошной и долгомошной групп типов. Весьма характерны кустарничковые ассоциации сфагновых ельников. Встречаются ельники лишайниковые и зеленомошно-лишайниковые (Юдин, 1954; Мартыненко, 1999).

Для большинства сосновых лесов этой подзоны характерна простота строения древостоя. Чистые древостой сосна образует на песчаных борových террасах и верховых болотах. Почти всегда в виде примеси к сосне встречаются береза, ель, лиственница. Большую площадь в северной тайге занимают зеленомошные и заболоченные сфагновые сосновые леса. Они покрывают плоские песчаные междуречья. Среди северотаежных сосновых лесов широко распространены лишайниковые и лишайниково-зеленомошные типы леса (Лященко, 1954, 1961; Рысин, 1975; Мартыненко, 1999; Рысин, Савельева, 2002). В северной тайге хвойные леса представлены в основном древостоями IV-Va классов бонитета, с полнотой 0.5-0.7, с запасом древесины 50-140 (200) м³ га⁻¹. Древостой как еловых, так и сосновых фитоценозов характеризуются небольшими значениями высот и диаметров.

Господствующими на плакорах средней тайги являются еловые леса. Они здесь представляют довольно устойчивые самовозобновляющиеся экологические системы. Центральное место среди среднетаежных лесов занимает группа зеленомошных ельников и сосняков, а среди них – черничники (Лященко, 1954; Юдин, 1954; Мартыненко, 1999). Кроме того, широко распространены в среднетаежной подзоне долгомошные еловые и сфагновые еловые леса. Для почв, более богатых и увлажненных проточными водами, характерны ельники травяно-черничные. Насаждения этой подзоны, по сравнению с древостоями северной тайги, несколько моложе и характеризуются большей производительностью. Среднетаежные леса имеют в основном простое строение полога древостоя. Редко выделяются два яруса: первый образован сосной, второй обычно составлен елью при незначительном участии березы и осины. Полнота древостоев – 0.5-0.8, запас древесины – 80-200 (250) м³ га⁻¹. Господствующие классы бонитета IV-V, **редко встречаются древостой III класса бонитета** с запасом древесины до 400 м³ га⁻¹.

В подзоне южной тайги доминируют еловые и елово-пихтовые леса, иногда с участием широколиственных пород, в первую очередь липы. Исключи-

тельно господствующей является группа зеленомошных типов леса, при этом центральным является ельник кисличный. Древостой в этой подзоне сложнее по составу, чем в районах, расположенных севернее. Древесный ярус имеет два-три полога. Полнота древостоев – 0.7-0.9. Основные классы бонитета относительно высоки (II-IV).

Древостой спелых ельников и сосняков исследуемого региона характеризуются выраженной разновозрастностью (Гусев, 1964, 1978; Дыренков, 1984; Семенов и др., 1998; Коренные еловые..., 2006; Манов, 2008; Кутявин, 2012). Особенно большой пестротой в этом отношении выделяются перестойные ельники.

Леса с господством и участием кедра сибирского (*Pinus sibirica*) занимают 42 тыс. га (Леса..., 1999). В Республике Коми проходит западная граница его естественного распространения. Основные массивы кедровников сосредоточены на территории Печоро-Илычского государственного биосферного заповедника, в междуречье Печоры и Илыча, по притоку Печоры – р. Ляге, а также в бассейнах рек Нем и Щугор. Кедровые леса произрастают на крутых горных склонах с маломощными каменистыми почвами, на заболоченных участках водораздельных равнин, на склонах парм. В самых северных местообитаниях кедр приурочен к наиболее прогреваемым песчаным и супесчаным почвам речных долин. В южных районах он чаще встречается на заболоченных участках. Кедрячи в основном перестойные (средний возраст – 193 года), средний класс бонитета – IV.9, запас древесины – 100-140 м³ га⁻¹ (Лесное хозяйство..., 2000). На территории Республики Коми выявлены следующие типы кедровников: лишайниковый, лишайниково-зеленомошный, долгомошный, сфагновый и травянистый. Кедр в республике с 1959 г. взят под охрану государства. 50-60% площади кедровых лесов представлены долгомошными типами. Рубка его запрещена по всей территории (Непомилуева, 1974; Непомилуева, Лащенко, 1993).

Лиственница сибирская (*Larix sibirica*) занимает 192.5 тыс. га, образует отдельные участки или куртины между еловыми и сосновыми лесами. Наиболее часто лиственничники встречаются на возвышенностях Тиманского кряжа, в предгорьях и на склонах Приполярного Урала. На равнинах они распространены по рекам Мезень и Вашка, местами по Локчиму, Вычегде на Ижмо-Печорском междуречье (Юдин, 1954). Лиственничники продуктивны, запас древесины в среднем составляет 210 м³ га⁻¹, может достигать более 450 м³ га⁻¹. Лиственничники характеризуются в основном старовозрастными насаждениями. Анализ материалов показал, что лиственничники представлены в основном зеленомошными, долгомошными типами леса. Незначительные площади заняты лишайниковыми (на высоких террасах горных рек Урала) и сфагновыми (в местообитаниях, увлажненных таяющими снегами или выходящими на поверхность грунтовыми водами) типами леса (Леса..., 1999).

В Республике Коми общая площадь пихтовых лесов около 192.2 тыс. га. Леса, образованные пихтой сибирской (*Abies sibirica*), распространены в долинах равнинных рек в пределах средней и южной тайги, в предгорной пармовой полосе и горах Урала. Все они объединены в три типа: лишайниково-зеленомошный, зеленомошный и травянистый. В составе древостоя пихтарников обычно встречается ель сибирская, в виде примеси присутствуют береза пушистая, а в восточных районах – кедр сибирский. Древостой пихтовых ценозов при среднем запасе древесины 132 м³ га⁻¹ имеют полноту 0.5-0.6, средний возраст 132 года (Юдин, 1954; Мартыненко, 1999).

Лиственные леса на территории Республики Коми формируют береза (*Betula pubescens*, *B. pendula* и *B. tortuosa*), осина (*Populus tremula*), ольха (*Alnus glutinosa* и *A. incana*). Наиболее распространены березовые леса (4.99 млн. га).

Березняки в рассматриваемых регионах в основном производные. Они в последние 50-60 лет формируются на вырубках хвойных лесов и гарях. Средний возраст березовых древостоев 50 лет, средний класс бонитета IV.1. Средний запас древесины – 70 м³ га⁻¹. Производные березняки встречаются как в пойменных местообитаниях с хорошо увлажненными дерново-аллювиальными почвами, так и на борových террасах с относительно сухими почвами (Лащенкова, 1954; Дегтева, 1999; Дегтева и др., 2001). Сообщества с доминированием в составе древостоя березы наиболее распространены в подзонах южной и средней тайги республики. Равнинные и предгорные березовые леса представлены в основном зеленомошными, долгомошными и сфаговыми группами типов. Лишайниковые и травянистые типы березняков занимают небольшие площади (см. табл. 1.3). В горах Урала березняки представлены пятью типами леса: лишайниковым, зеленомошным, долгомошным, травянистым и сфаговым (Юдин, 1954; Дегтева, 1999). Коренные березняки занимают значительные площади в растительном покрове лесотундры крайнесеверной тайги и предгорий Уральских гор. Встречаются также в поймах рек и ручьев на водораздельных пространствах.

Осина (*Populus tremula*) произрастает на всей территории Республики Коми (Флора Северо-Востока..., 1976). Осинники занимают 0.61 млн. га и наиболее распространены в средней и южной тайге. В подзоне северной тайги насаждения осины формируются в долинах рек по берегам озер и склонов холмов. Большая часть осиновых лесов имеет вторичное происхождение. Осина легко возобновляется на гарях и вырубках, предпочитает достаточно увлажненные, плодородные почвы. Осина часто формирует производительные древостои (I-III классов бонитета) в подзонах средней и южной тайги. В северной тайге произрастают осинники IV-V классов (Дегтева, Дубровский, Шубина, 2009; Дегтева, Дубровский, 2012). Согласно А.Н. Лащенкова (1954) и С.В. Дегтевой (1999), осинники в республике представлены четырьмя типами леса: мертвопокровным, травянистым, зеленомошным и долгомошным. Наиболее распространены зеленомошные осинники (более 90%).

Ольшаники и ивняки представлены в основном травяными и сфаговыми типами и имеют небольшие площади и запасы древесины.

Глава 2. ПУЛ И ПОТОКИ УГЛЕРОДА В ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ООПТ

2.1. Состояние проблемы. Методические подходы

Леса играют в жизни человечества огромную роль. Экономический потенциал лесных ресурсов связан во многих странах с использованием древесины и недревесной лесной продукции. Исключительно велика роль лесных насаждений в сохранении устойчивости природной среды. Леса являются экологическим каркасом территории, выполняющим основную нагрузку при реализации практически всех природоохранных мероприятий. В последнее время возросла роль лесов в качестве источника генетических ресурсов и зон сохранения биологического разнообразия (Страхов и др., 2001).

Возрастающая концентрация CO_2 в атмосфере планеты, усиление парникового эффекта и связанное с этим потепление климата может привести к существенному изменению природной среды и непредсказуемым социально-экономическим последствиям. По оценкам экспертов, последствия глобальных изменений климата в наибольшей степени скажутся на природной ситуации в холодной и умеренной зонах Северного полушария. В целях реализации положений Конвенции об изменении климата, принятой на Конференции ООН по окружающей среде в Рио-де-Жанейро (1992), и после ратификации Протокола Киото в 2004 г. Россия и другие страны интенсивно ведут исследования по оценке биосферной роли национальных лесов, в частности, их роли в глобальном углеродном цикле (Конвенция..., 1992). Разработка научно обоснованных рекомендаций по рациональному использованию поглотителей и накопителей парниковых газов выдвигается в первоочередные задачи экологической политики. Один из путей сокращения выбросов CO_2 – это сохранение лесного покрова Земли, улучшение структуры лесов, повышение их продуктивности (углеродоемкости) за счет лесовосстановления, лесоразведения и реконструкции насаждений.

Особое внимание мировой общественности уделяется вопросам лесовосстановления и посадкам леса. Изыскиваются различные методы лесоразведения с использованием разнообразного ассортимента древесных пород и оптимальной по продуктивности структурой насаждений (Schroeder et al., 1991; Экологические проблемы..., 1995). Подчеркивается необходимость точного просчета всех вариантов и оценка возможных выгод, связанных с экологическими, эстетическими, оздоровительными и материальными ценностями лесов. Проводится серия проектов по широкомасштабной посадке лесов в Канаде, США, Китае, Индии и в других странах, создание лесных плантаций – в США, Японии, России и других странах (FAO, 1999).

Леса – это огромное хранилище углерода, аккумулированного в живых растениях, их остатках различной степени деструкции, в гумусе и торфах. В зависимости от природно-экономической ситуации леса того или друго-

го региона могут быть либо хранителем (стоком, резервуаром) углерода, либо – при неразумных формах хозяйствования – его источником (эмиссией) поступления в биосферу. Использование лесного покрова для увеличения депонирования углерода представляется весьма важной задачей. Ведь помимо аккумуляции углерода леса выполняют важные ресурсные и экологические функции. По существу достигается тройной эффект – депонирование излишков углерода, повышение ресурсного потенциала и улучшение природной среды. Для Республики Коми, 79% территории которой заняты лесами (Леса..., 1999), эти проблемы имеют первостепенное значение.

Проведенные исследования показали, что запасы углерода и темпы его депонирования в лесных экосистемах зависят от продуктивности лесов, их состояния, породного состава, возрастной и товарной структуры. Существенное значение приобретает направленность и интенсивность лесопользования, уровень лесохозяйственного производства, охраны и защиты леса. Все это надо учитывать при оценке экологических функций лесов и организации эффективных мер по рациональному использованию лесных ресурсов.

Лесной фонд. Для понимания сути процессов углеродного цикла, определения резервуаров углерода в экосистемах лесов, размеров поглощения (стока), выброса (эмиссии) требуется иметь различные данные о лесах и лесном фонде. В принципе, для этого необходимо иметь материалы о биомассе произрастающей в лесном фонде древесной, кустарничковой, травяной растительности и ее динамике. Эти данные определяются структурой и состоянием лесного фонда. Рассматриваемая заповедная территория включает национальный парк «Югыд ва», Печоро-Илычский биосферный заповедник, комплексные заказники «Белый», «Белоборский», «Верхне-Локчимский», «Сэбысь», «Удорский», «Верхне-Вашкинский», «Белая Кедва», «Гажаягский», «Синдорский», лесные заказники «Ляльский», «Сусьель-Локчимский», болотные заказники «Угъюм», «Пычимское» (см. рис. 2.1) и занимает 2714 тыс. га, в том числе покрытых лесом около 63%.

Лесные экосистемы ООПТ оказывают мощное воздействие на все природные процессы. Их важнейшей экологической функцией ныне считается регулирование газового состава атмосферы за счет связывания CO_2 в процессе фотосинтеза, аккумуляции углерода в древесине, почве и выделение кислорода. Лесной фонд региона представлен лесной растительностью в сочетании с нелесными землями, кустарничковыми зарослями, болотами и лугами. Основными лесобразующими породами на территории рассматриваемых ООПТ, как и в республике в целом, являются ель, сосна, пихта, кедр сибирский, лиственница, береза, осина и др. Рассматриваемые ООПТ располагаются в притундровой зоне, в подзонах северной, средней и южной тайги. Значительные площади лесных земель сосредоточены в предгорной и горной частях Урала.

Экологический потенциал лесов находится в прямой зависимости от их качественных и количественных характеристик и размещения по территории. Так, в рассматриваемых ООПТ на долю хвойных лесов приходится около 88% покрытой лесом площади, из них значительная часть территории принадлежит насаждениям с преобладанием ели (более 70%), примерно пятую часть занимает сосна. Лиственница, кедр, пихта составляют около 5%. На долю мягколиственных насаждений приходится 12% лесопокрытой площади, из которых большую часть занимают березняки.

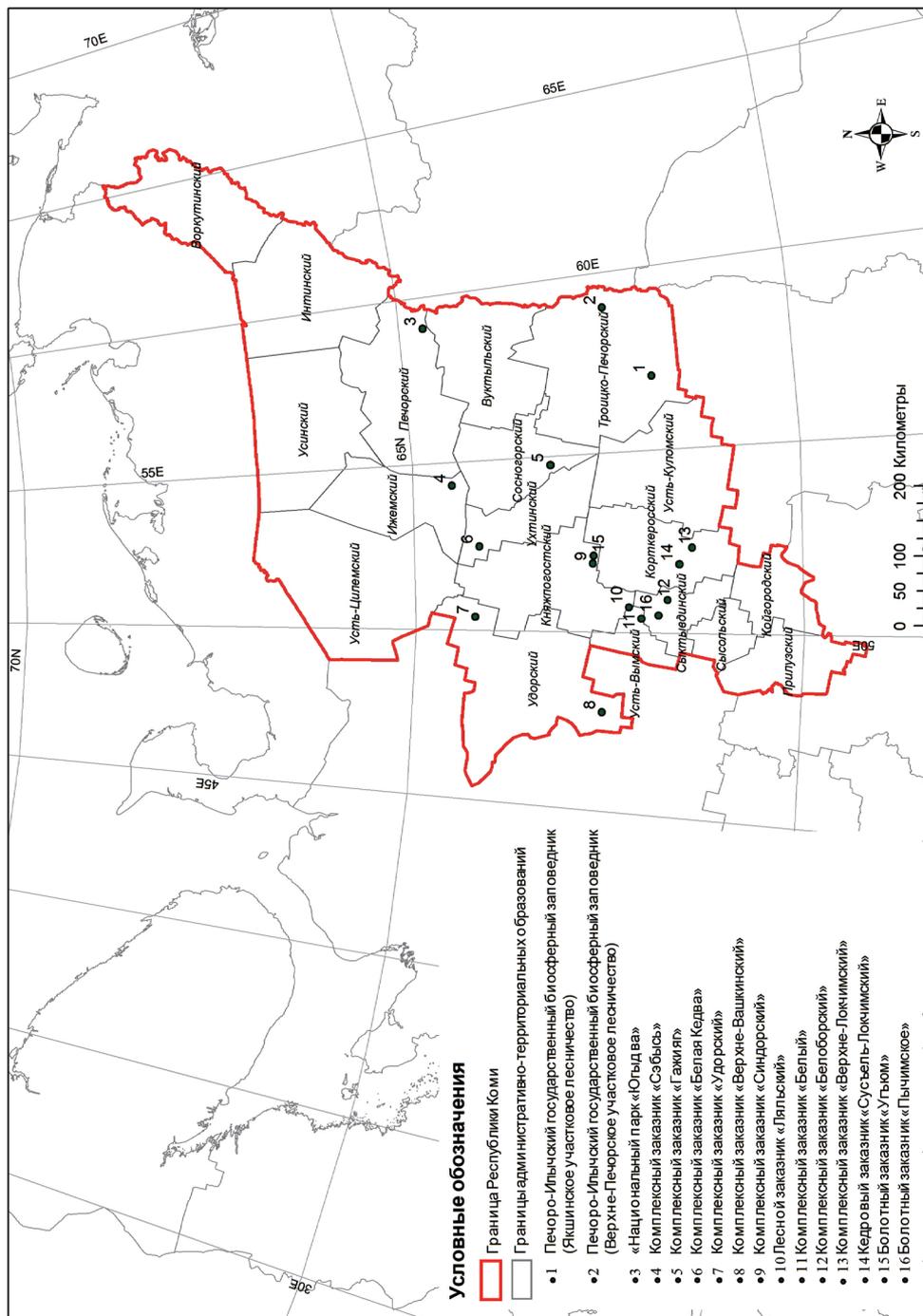


Рис. 2. 1. Схема расположения рассматриваемых ООПТ Республики Коми.

Суровые климатические условия на большей части территории региона предопределили невысокую продуктивность лесов. Так, более 70% площади хвойных на ООПТ региона относится к низкобонитетным (V класс бонитета и ниже) насаждениям, т.е. являются низкопроизводительными. Их значение в получении древесины и депонировании углерода в расчете на единицу площади сравнительно невелико из-за невысоких запасов древесины в спелом возрасте ($30-100 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$). Для хвойных насаждений характерны низкие полноты. Насаждения с полнотой 0.6 и ниже составляют более 60% площади. Средний возраст хвойных в заповедной зоне 170 и более лет. Но поскольку они представлены достаточно большими площадями, то их суммарный вклад в накопление углерода древесины и депонирование углерода значительно. Мягколиственные насаждения характеризуются большей производительностью. Среди мягколиственных низкобонитетные насаждения V класса бонитета и ниже составляют около 25%.

Современная структура лесного фонда рассматриваемых ООПТ далека от оптимальной. На значительной площади располагаются нелесные земли, не предназначенные для лесовыращивания. Довольно большие площади занимают болота. Высока доля низкополнотных насаждений, намечается замена хвойных насаждений мягколиственными на гарях. Разрушенные лесными пожарами леса в ряде случаев постепенно утрачивают способность к самовосстановлению и без целенаправленной системы хозяйствования не могут играть ту ключевую роль, которая возлагается на них в плане оздоровления природной среды и удовлетворения различных потребностей.

Необходимо обратить внимание и на возрастную структуру лесов. В целом она мало благоприятна для депонирования углерода, поскольку на ООПТ в регионе преобладают спелые и перестойные насаждения. На их долю приходится более половины покрытой лесом площади и около 80% общего запаса древесины на корню. В спелых и перестойных насаждениях прирост древесины часто соизмерим с отпадом, что существенно ограничивает возможность дальнейшего накопления древесных запасов и депонирования углерода. Современная качественная структура лесов сохранится и в дальнейшем. На заповедных территориях, где промышленные рубки запрещены, идет постепенное накопление площадей старовозрастных насаждений. Следует также отметить, что роль старовозрастных лесных сообществ в углеродном цикле биосферы слабо изучена.

Цикл углерода. Процессы поглощения (стока), депонирования, выброса в атмосферу (эмиссии) углерода в экосистемах лесов начинаются от фиксированного хлорофиллоносными растениями CO_2 в форме первичных ассимилятов. Далее углерод депонируется в фитомассе или детрите и освобождается в форме CO_2 и частично метана (CH_4). Освобождение углерода происходит обычно в процессе окисления («дыхания»). Оно обязано как зеленым растениям, так и энергетически зависимым от них другим многочисленным группам организмов, потребителей корма, называемыми редуцентами.

Углеродный поток существенно зависит от зонального типа лесной растительности. Леса ООПТ рассматриваемого региона относятся к бореальным. Они образованы небольшим числом видов деревьев. Фитоценозам свойственно: слабое развитие нижнего яруса растительности за исключением напочвенного покрова (Леса..., 1999; Биологическое разнообразие..., 2012), невысокая из-за условий внешней среды активность микроорганизмов, разрушающих мертвые растительные остатки; преобладание в составе таких организмов-

грибов (Стенина, 1974; Бобкова и др., 1982; Арчегова, 1985; Хабибуллина, 2009), сочетающихся с субстратами, которым свойственна кислая реакция и бедность доступными формами азота. Лесным сообществам характерно наличие лесных подстилок мощностью обычно 5-10 см, достигающей до 20-25 см, формирование слоя торфа при избыточном увлажнении, преобладание количества годичного опада растительных остатков над годичной интенсивностью их разложения (Забоева, 1965, 1975; Верхоланцева, 1972, 1977; Верхоланцева, Бобкова, 1972; Продуктивность..., 1975; Подзолистые почвы, 1980; Бобкова, 1987; Кузнецов, 2010; Осипов, 2011).

Лесным экосистемам свойственны многочисленные и разнонаправленные потоки углерода (Курбанов, 2002; Пулы и потоки..., 2007). Однако пока в мире не изучено ни одной лесной экосистемы, в которой удалось бы оценить все потоки углерода.

Методы. Оценку пулов и потоков углерода можно провести разными методами: по биопродуктивности (Кобак, 1988; Исаев и др., 1993; Углерод..., 1994; Экологические проблемы..., 1995; Лесные экосистемы..., 2002; Усольцев, 2007; Пулы и потоки..., 2007), хлорофильному индексу (Тарчевский, 1977; Воронин и др., 1995; Мартынюк, Бобкова, Тужилкина, 1998), экофизиологическим методом (Ладанова, Тужилкина, 1992; Мокроносков, 1994; Кайбияйнен и др., 1999; Загирова, 1999). Оценка баланса углерода вышеназванными методами показала, что спелые ельники черничные северной и средней подзоны тайги (Республика Коми) являются стоком углерода (Мартынюк и др., 1998; Биопродукционный процесс..., 2001; Бобкова и др., 2003; Коренные еловые..., 2006; Бобкова, 2007;). Сток углерода выявлен в среднетажном старовозрастном ельнике чернично-сфагновом (Кузнецов, 2010) и спелом сосняке чернично-сфагновом (Осипов, 2011). Другие экосистемы в этом плане не изучены. Хотя важно знать – стоком или эмиссией являются коренные лесные сообщества, которые доминируют на территории верховьев Печоры.

Оценку потоков углерода на уровне лесных экосистем и территориальных комплексов наиболее часто проводят по биопродуктивности (Kurz et al., 1992; Углерод..., 1994; Уткин, 1995; Исаев и др., 1995; Nabuurs, Mohren, 1995; Усольцев, Залесов, 2005; Пулы и потоки..., 2007). При исследованиях биологической продуктивности биогеоценозов в качестве характеристики используются следующие параметры:

1. Первичная брутто-продукция (**Gross Primary Production – GPP**) – количество CO_2 , поглощенное древостоем (фитоценозом) в процессе фотосинтеза.
2. Первичная нетто-продукция (**Net Primary Production – NPP**) – годичный прирост количества CO_2 , аккумулированного в древостое после расходования части вещества на дыхание (Родин, Базилевич, 1965; Уткин, 1975). $\text{NPP} = \text{GPP} - R_a$ (R_a – автотрофное дыхание).
3. Нетто-продукция экосистем (**Net Ecosystem Production – NEP**) – истинный прирост, $\text{NEP} = \text{GPP} - R_a - R_h$ (R_h – гетеротрофное дыхание).

Выделяется три пула органического вещества:

- фитомассы, дифференцированной на фракции и фитоценотические ярусы;
- детрита, при необходимости с дифференциацией на три самостоятельных пула: лесной подстилки; крупных древесных остатков, желательного с разделением на сухостой и валеж, корни и пни; отмершие ветви в кронах;
- гумуса, представленного двумя пулами: легкоминерализуемого органического вещества или лабильного гумуса и стабильного гумуса.

Первоочередным в проблеме оценки углеродного цикла лесов признается определение размеров секвестра атмосферного C-CO₂ лесами в масштабе определенной территории, что представляется выполнимым на основе лесоинвентаризации. Таковыми являются материалы Государственных учетов лесного фонда (ГУЛФ) и материалы по биопродуктивности, включающие данные по фитомассе различных экосистем.

Распределение площадей и запасов насаждений по лесообразующим породам (или их группам) и далее по группам возраста позволяют оценить средние запасы для насаждений разных возрастных групп. Эти запасы вместе с площадями насаждений тех же групп являются базовыми при расчетах пулов углерода фитомассы и почв. Накоплен достаточно большой материал по биопродуктивности лесных экосистем Печорского бассейна и Республики Коми (Надуткин, Модянов, 1972; Забоева и др., 1972; Забоева, 1975; Продуктивность..., 1975; Бобкова, Надуткин, 1977; Русанова и др., 1977; Чертовской и др., 1978; Эколого-биологические основы..., 1981; Бобкова, 1987, 2007; Эколого-физиологические основы..., 1993; Биопродукционный процесс..., 2001; Коренные еловые..., 2006 и др.). Эти работы оценивают в основном продуктивность хвойных и лиственных фитоценозов региона. Следует также отметить, что показатели, характеризующие продуктивность лесных фитоценозов очень вариабельны. Так, общие запасы органической массы в хвойных фитоценозах в зависимости от типа леса составляют от 36 до 220 т га⁻¹, а ежегодный прирост ее изменяется от 1.8 до 10.0 т га⁻¹ в год (Бобкова, 1987, 1999, 2003, 2007; Биопродукционный процесс..., 2001; Коренные еловые..., 2006).

Первый из пулов (пул фитомассы) рассчитывается по конверсии древесных запасов в фитомассу (углерод) с использованием отношений фитомасса/запас (прирост фитомассы/запас (Ph/г·м⁻³) (Уткин, 1975; Исаев и др., 1993), а почвенный углерод – по площади разных категорий земель лесного фонда и данных для этих земель по плотности органического углерода (Честных и др., 1999). Отношения фитомасса/запас, касающихся отдельных компонентов фитомассы спелых древостоев с учетом двух растительных зон Республики Коми, опубликованы нами (Бобкова и др., 2000). Нормативы можно также рассчитать регрессионным методом от запаса и возраста насаждений, не прибегая к распределению запасов и площадей на возрастные группы (Замолодчиков и др., 2000). Коэффициент конверсии запасов в фитомассу (углерод) может быть получен и регрессионными методами, дополнительным подключением других таксационных показателей (классов бонитета, полноты, густоты среднего диаметра и др.) (Усольцев, 1998, 2010; Швиденко и др., 2000). В.А. Усольцевым и С.В. Залесовым (2005) предложены регрессионные модели для определения фитомассы и продукции для основных лесообразующих пород бореальной зоны.

Для конверсии фитомассы в углерод нами определены коэффициенты для древесины, коры, листьев, хвои, корней древесных растений, трав, мхов и подстилки (Бобкова, Тужилкина, 2001). Материалы по содержанию гумуса в почве и плотности отдельных горизонтов в лесных экосистемах Республики Коми освещены в работах Л.А. Верховланцевой (1972, 1977), Л.А. Верховланцевой, К.С. Бобковой (1972), И.В. Забоевой с соавторами (1972, 1975).

Опубликованных материалов по характеристике пулов углерода, связанных с трансформацией органического вещества в процессе его разложения для рассматриваемой территории, немного. На территории республики такие материалы имеются только для среднетаежных насаждений (Бобкова и

др., 1972; Продуктивность..., 1975; Эколого-биологические..., 1993; Машика, 2006; Кузнецов, 2010; Осипов, 2011; Дымов и др., 2013). Отмечено, что за год разлагается около 30% поступающего опада.

Помимо естественных потоков определяются еще два: 1) от лесопользования, т.е. от заготовок древесины, причем срубленная древесина подразделяется на вывезенную с лесосеки к местам переработки и оставленную на лесосеке, т.е. поступающую в детрит; 2) от лесных пожаров, т.е. потоком сгоревшей фитомассы и фитомассы послепожарного отпада, который поступает в детритный пул гарей. Послепожарный отпад бывает трудно определить, поскольку в сопутствующей отчетности фиксируются пройденная огнем лесная площадь и площадь, где насаждения погибли (Экологические проблемы..., 1995).

При оценке обоих этих пулов используются данные, получаемые за отдельные годы, независимо от ГУЛФ, но с привлечением нормативов для конверсии древесных запасов в фитомассу (углерод) фракций. Однако исследования углеродного цикла, связанные с пожарами и лесопользованием, на территории Республики Коми не проводились. Имеющиеся сведения о пожарах и фитомассе ценозов на рассматриваемой территории ООПТ дают некоторую возможность оценить потоки углерода.

Метод эдди-коварианс измеряет нетто-продукцию (NEP) и пригоден для оценки биосферной функции. В лесах на территории европейского Северо-Востока углеродный цикл данным методом не изучался.

Метод эко-физиологический дает возможность определить величину каждого из трех показателей (GPP, NPP, NEP), **выяснить роль каждого из компонентов углеродного баланса системы**, а также оценить зависимость этих показателей от факторов внешней среды за короткий промежуток времени.

Эмиссия углерода от лесных пожаров. Большое влияние на газовый состав атмосферы оказывают лесные пожары. Воздействие лесных пожаров на углеродный баланс атмосферы определяется двумя основными процессами: физико-химическим процессом «быстрого» выделения при горении органических материалов («пожарные» эмиссии) и биологическим процессом «медленного» высвобождения углерода в результате деструкции и гниения погибших от огня не сгоревших растений («послепожарные» эмиссии).

Оценка «пожарных» эмиссий углерода проводится через массу ежегодно сгорающих материалов и содержание углерода в ней. Масса ежегодно сгорающих органических материалов определяется через расходы лесных горючих материалов (ЛГМ) на единицу пройденной огнем территории и ежегодные площади верховых, низовых и подземных пожаров. Площади пройденных пожаров на территории отдельных ООПТ отражены в годичных отчетах лесничеств.

Послепожарная эмиссия углерода оценивается через массу отмирающей от воздействия огня древесной растительности, содержание в ней углерода и скорости (продолжительности) деструкции древесины. Масса годичного послепожарного отпада деревьев с единицы пройденной огнем территории определяется через интенсивность отпада деревьев с единицы пройденной огнем территории и ежегодные площади низовых, верховых и подземных пожаров.

Масса отмирающих от воздействия пожаров лесных растений определяется через фитомассу насаждений, наиболее подверженных пожарам данного вида и массу сгоревших ЛГМ, а также период их деструкции, используя имеющуюся литературу и справочные материалы (Мелехов, 1976; Harmon et al., 1986 и др.; Охрана лесов и ответственность..., 1987; Экологические

проблемы..., 1995). При этом необходимо учитывать период послепожарного лесовосстановления. Этот период следует ограничивать состоянием, когда количество депонируемого молодняками углерода компенсирует его эмиссию от деструкции отмершей древесной растительности. Согласно И.С. Мелехову (1948), Е.Г. Тюрину (1978, 1982), В.Б. Ларину и Ю.А. Паутову (1989), В.Ф. Цветкову (2002), С.В. Ильчукову (2003), в северных районах таежной зоны формирование молодняков на гарях заканчивается к 30-40 годам.

Эмиссия углерода от лесопользования. Рубка леса на рассматриваемых ООПТ ограничена, размеры заготовки древесины очень малы (300-600 м³ в год). При оценке вклада лесопользования в эмиссию углерода необходимо провести расчет не только на стволовую древесину, но и на все фракции фитомассы древостоев (учитывая пни, корни, ветви и сучья, листья и хвою). Для расчета их фитомассы принято определять конверсионные коэффициенты, что представляет отношение массы отдельных фракций деревьев к объему их стволов. Согласно Хэйккила (Hakkila, 1990), Бердси (Birdsoy, 1990), «Углерод...» (1994), К.С. Бобковой и др. (2000), в старовозрастных насаждениях масса стволов примерно равна массе всех остальных фракций вместе взятых.

2.2. Запасы углерода в лесных экосистемах

С целью определения пула углерода проведен анализ учета лесного фонда национального парка «Югид ва», Якшинского и Верхне-Ильчского участков лесничеств «Печоро-Ильчского биосферного заповедника» и комплексных заказников «Белый», «Белоборский», «Верхне-Локчимский», «Сэбысь», «Удорский», «Верхне-Вашкинский», «Белая Кедва», «Гажаягский», «Синдорский», лесных заказников «Ляльский», «Сусьель-Локчимский».

Оценка фитоценотического разнообразия лесной растительности ООПТ проводилась на основе анализа данных, характеризующих отдельные выделы лесопокрытой площади. Для каждого рассматриваемого резервата создавали базу данных, куда вносили лесотаксационную информацию. На основе материалов, собранных в эту базу, дано видовое и структурное распределение фитоценозов по группам типов леса, определен ряд возрастного развития древостоев различных формаций, выявлены средние таксационные показатели древостоев (класс бонитета, относительная полнота, средний запас древесины) на территории рассматриваемых ООПТ.

Для определения пула углерода фитомассы и детрита анализированы имеющиеся в литературе материалы по продуктивности лесных сообществ РК и прилегающих территорий (Надуткин, Модянов, 1972; Игнатенко и др., 1973; Забоева, 1975; Продуктивность..., 1975; Бобкова, Надуткин, 1977; Корняк, Чертовской, 1977; Русанова, 1977; Чертовской и др., 1978; Бобкова, 1987, 2003, 2007; Биопродукционный процесс..., 2001; Коренные еловые..., 2006; Пристова, 2008; Кузнецов, 2010; Осипов, 2011; Бобкова, Осипов, 2012; а также неопубликованные материалы, имеющиеся у авторов). Так, согласно приведенным работам, запасы органической массы в древостоях спелых и перестойных ельников в зависимости от типа леса и возраста изменяются от 34 до 260 т га⁻¹, в сосняках – от 12 до 226, средневозрастных и приспевающих сосняках – от 72 до 150, сосновых молодняках – от 10 до 53, березняках разного возраста – от 4 до 220, лиственничниках – от 31 до 310 т га⁻¹. Масса растений напочвенного покрова в лесных сообществах варьирует в пределах 1.1-25.5, а запасы древесного дебриса – 1-58 т га⁻¹.

Запас фитомассы рассчитывался по конверсии запасов фитомассы к запасу древесины. Отношения фитомассы/запас, ценозов различных лесных формаций для северной и средней тайги опубликованы нами ранее (Бобкова и др., 2000).

Пересчет запасов органической массы ценозов на массу углерода осуществляли дифференцированно по компонентам с применением коэффициентов (0.45-0.53), свойственных отдельным фракциям (Бобкова, Тужилкина, 2001). Запасы древесного детрита (сухостой, валеж) оценивали по объему и объемному весу древесины, учитывая стадию гниения.

Для нахождения запасов углерода органического вещества ($C_{\text{орг}}$) в почвах лесных фитоценозов кроме собственных аналитических данных были использованы опубликованные ранее материалы по содержанию гумуса в почвах хвойных сообществ этого региона (Верхоланцева, Кочеткова, 1970; Верхоланцева, 1972, 1977; Верхоланцева, Бобкова, 1972; Продуктивность..., 1975; Забоева, 1975, 2001; Подзолистые почвы...1980; Арчегова, 1985; Машика, 2005; Денева, 2007; Кузнецов, 2010; Пристова, 2010; Осипов, 2011). Расчет $C_{\text{орг}}$ осуществлялся по формуле:

$$C_{\text{орг}} = C\% \rho_b h,$$

где $C_{\text{орг}}$ – углерод органического вещества (г м^{-2}); $C\%$ – содержание гумуса относительно сухой почвы отдельных горизонтов; ρ_b – плотность почвы (г см^{-3}); h – мощность слоя почвы, в котором сосредоточен запас углерода (см) (Смагин и др., 2001). При пересчете данных с содержания гумуса на углерод использовали коэффициент 1.724 (Теория и практика..., 2006). Согласно В.А.Рожкову и соавторам (1997), при анализе данных по содержанию $C_{\text{орг}}$ в почве основное внимание уделено слою 0-100 см – слой, используемый для сравнительных оценок в литературе.

Анализ имеющихся материалов показал, что в условиях средней тайги Республики Коми общие запасы органического углерода подзолистых почв под хвойно-лиственными насаждениями варьируют от 55 до 130 т га^{-1} , под еловыми на автоморфных почвах – от 57 до 103 т га^{-1} . В торфянисто-подзолисто-глееватых почвах заболоченных ельников концентрируется от 67 до 130 т С га^{-1} . Глееподзолистые иллювиально-гумусовые почвы среднетаежных коренных ельников зеленомошных предгорного Урала на территории Печоро-Илычского заповедника накапливают 61-170 т С га^{-1} . В сосновых лесах на автоморфных песчаных и супесчаных почвах аккумулируется 30-60, в болотно-подзолистых – 66-95 т С га^{-1} . В почвах сосняков послепожарного происхождения отмечается относительно высокое содержание органического углерода – 117 т га^{-1} , в почвах березняков накапливается 38-130 т С га^{-1} . Таким образом, общие запасы органического углерода в лесных сообществах на исследуемых подзолистых и болотно-подзолистых почвах варьируют в достаточно широких пределах. Это является следствием изменчивости лесорастительных условий, гидротермического режима почв и, соответственно, темпом гумусообразования и детритнакопления в них. Относительно высокие запасы в фитоценозах в болотно-подзолистых почвах можно объяснить замедленным темпом разложения растительных остатков в гидроморфных условиях и, как следствие, большим накоплением углерода в подстилке.

Печоро-Илычский государственный биосферный заповедник был организован Постановлением Правительства от 4 мая 1930 г. (Заповедник..., 1993,

1995). Он расположен на юго-востоке Республики Коми в междуречье верхней Печоры и Илыча. В настоящее время заповедная территория состоит из двух отдельных участков, именуемых «Якшинский» и «Уральский». Территория резервата включает четыре участковых лесничества: Верхне-Илычское, Нижне-Илычское, Верхне-Печорское, Якшинское. Общая площадь заповедника – 721 тыс. га.

Согласно геоботаническому районированию, рассматриваемая территория расположена на территории европейской части России в подзонах средней и северной тайги и относится к Камско-Печорской подпровинции Урало-Западносибирской провинции евроазиатской таежной области (Растительность..., 1980). Якшинский участок приурочен к Печорскому сосновому округу. Он расположен на Припечорской низменности, фундаментом которой сложен пермскими породами, перекрытыми ледниковыми отложениями: флювиогляциальными песками и моренными суглинками. Почвы Якшинского участка торфянисто- и торфяно-подзолисто-глеевые иллювиально-гумусовые, иллювиально-гумусово-железистые подзолы, глееподзолистые и болотно-подзолистые (Атлас почв..., 2010). Уральский участок захватывает территории Приуральского елово-пихтового, Уральского темнохвойно-березово-горно-тундрового и Илычского елово-пихтового округов. Предгорный холмистый район занимает западную часть Уральского участка до подножия Главного Уральского хребта. В пределах этого района выделяется область развития известняковых гряд и речных долин и две крупные гряды возвышенностей, сложенные кварцитами и кварцевыми песчаниками. На востоке увалистой полосы находится более приподнятая гряда, отдельные вершины которой лишены леса (Юдин, 1954). Почвы предгорного района Уральского участка глееподзолистые и горные лесные глееподзолистые потечно-гумусовые. В горном районе Северного Урала преобладают горно-лесные глееподзолистые иллювиально-гумусовые и горно-тундровые почвы (Атлас почв..., 2010).

Запасы углерода были рассчитаны для Якшинского и Верхне-Печорского лесничеств. Якшинское участковое лесничество заповедника (Якшинский участок) занимает равнинную территорию в 15 800 га (рис. 2.2А). Ее лесистость – 90.4%, преобладают сосновые насаждения, которые занимают 12 277 га, или 85.9% лесопокрытой площади. Еловыми насаждениями покрыто 11.1% лесной площади, они приурочены в основном к поймам рек. Березняки произрастают большей частью в прибрежной зоне р. Печора, где примерно половина их площади относится к насаждениям приспевающей группы возраста. Небольшую часть покрытой лесом площади лесничества занимают лиственничные молодняки и спелые кедровые ценозы. В лесных насаждениях Якшинского участкового лесничества Печоро-Илычского биосферного заповедника запасено 203.4 тыс. м³ древесины, из них 98.3% сконцентрировано в хвойных сообществах (табл. 2.1).

В лесных экосистемах Якшинского участкового лесничества возрастная структура древостоев по формациям варьируется от II до VIII.5 класса возраста (см. табл. 2.2). Средний класс возраста – VII.6. Леса в основном низко-, среднеполнотные. Средний запас стволовой древесины для древостоев всех возрастных групп составил 122 м³ га⁻¹, при этом для спелых и перестойных – 140 м³ га⁻¹.

В лесных сообществах Якшинского участка преобладает зеленомошная группа типов – 63.2%. Лишайниковые насаждения составляют 13.5%, сфагновые – 9.7, травяные – 7.5, долгомошные – 6.1% от всей лесопокрытой площади (рис. 2.3).

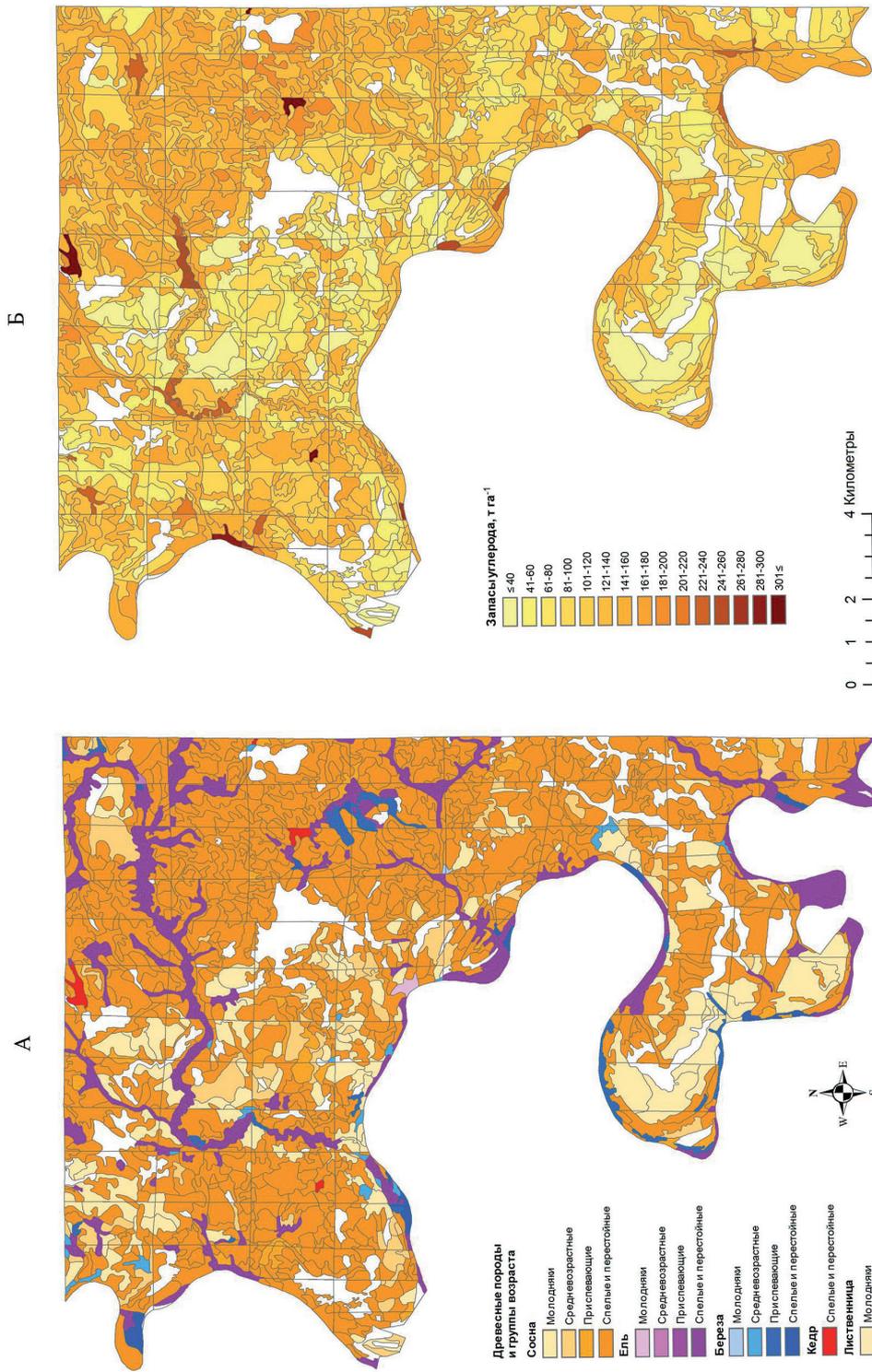


Рис. 2.2. План лесонасаждений (А) и запасы углерода органического вещества (Б) в лесных экосистемах Якшинского участка лесничества Печоро-Ильчского биосферного заповедника.

Таблица 2.1

Распределение лесопокрытой площади, запасов древесины по преобладающим породам и возрастным группам в Якшинском участковом лесничестве

Формация	Всего	Группа возраста				
		Молодняки	Средне-возрастные	Приспевающие	Спелые	Перестойные
Сосновая	12277 168.8	1881 6.4	739 6.8	356 4.9	1852 27.5	7438 123.2
Еловая	1581 30.0	15 0.1	4 0.1	4 0.1	182 3.6	1378 26.1
Кедровая	40 1.0	0 0	0 0	0 0	40 1.0	0 0
Лиственничная	24 0.1	24 0.1	0 0	0 0	0 0	0 0
Березовая	368 3.5	3 0.003	87 0.4	179 1.1	57 0.5	42 1.5
Итого	14290 203.4	1934 6.6	830 7.3	539 6.1	2131 32.6	8858 150.8

Примечание. В числителе – площадь, га; в знаменателе – запасы древесины, тыс. м³.

Таблица 2.2

Таксационная характеристика древостоев Якшинского участкового лесничества

Формация	Доля формации, %	Средние показатели				
		Класс возраста	Класс бонитета	Относительная полнота	Запас древесины, м ³ га ⁻¹	
					Всего	Спелые и перестойные
Сосновая	85.9	VII.5	IV.7	0.6	119	137
Еловая	11.1	VIII.4	IV.4	0.7	163	164
Кедровая	0.3	V.1	IV.9	0.6	240	240
Лиственничная	0.2	II.0	V.0	0.7	26	0
Березовая	2.5	V.4	IV.5	0.7	56	165
Итого	100	VII.6	IV.6	0.6	122	141

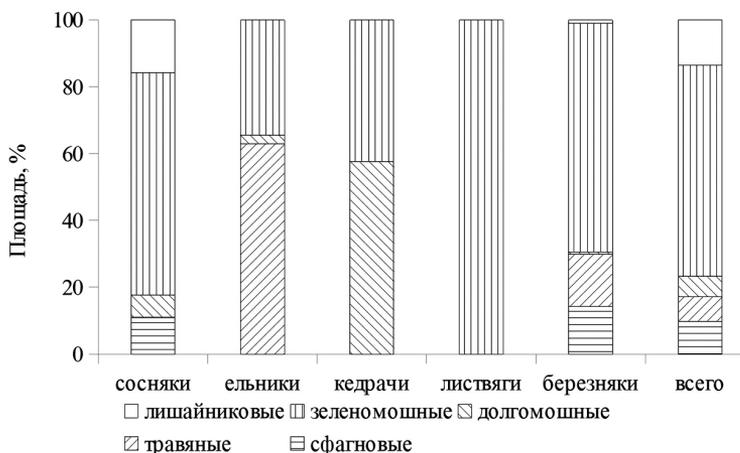


Рис. 2.3. Распределение лесопокрытой площади Якшинского участкового лесничества по группам типов леса.

На территории Якшинского участкового лесничества Печоро-Ильчского биосферного заповедника аккумулировано порядка 1693.3 тыс. т углерода органического вещества (см. рис. 2.2Б), из них 57.9% сосредоточено в верхнем метровом слое почвы, 36.8 – в древостоях, 2.8 – в растениях напочвенного покрова, 2.5% – в древесном детрите (табл. 2.3).

Таблица 2.3

Распределение запасов углерода органического вещества в лесных экосистемах по преобладающим породам в Якшинском участковом лесничестве, тыс. т

Формация	Древостой	Напочвенный покров	Детрит	Почва	Всего
Сосновая	518.5	38.6	27.6	779.2	1363.9
Еловая	88.3	3.9	11.9	156.5	260.6
Кедровая	2.6	3.8	0.6	6.8	13.8
Лиственничная	0.4	0.1	0.02	2.7	3.2
Березовая	13.2	0.3	2.8	35.5	51.8
Итого	623.0	46.7	42.9	980.7	1693.3

Территория Верхне-Печорского участкового лесничества Печоро-Ильчского биосферного заповедника, площадью 168 820 га, расположена в южной части Уральского участка. Ее лесистость составляет 90.7% (рис. 2.4А). Анализ лесного фонда показал, что на лесопокрытой площади (153175 га) Верхне-Печорского участкового лесничества доминируют спелые и перестойные еловые леса, которые занимают 76.5% облесенной территории. Сосняки в основном распространены в юго-западной части лесничества. Всего на долю хвойных формаций приходится 87.4% лесопокрытой площади. Из мелколиственных формаций большая доля приходится на березовую (12.2%). Общий запас стволовой древесины в насаждениях рассматриваемого лесничества составляет 22 487 тыс. м³. Породный состав лесов – 83Е7С3К7Б ед.Лц, Б, Ос, Ив, Ч (табл. 2.4).

Леса заповедника в границах Верхне-Печорского участкового лесничества преимущественно перестойные. Средний класс возраста древостоев – VIII.4. Их продуктивность низкая, класс бонитета в среднем равен IV.5. В лесных массивах преобладают среднеполнотные (0.6-0.7) древостои, занимающие 77.3% от лесопокрытой площади. Средний запас стволовой древесины в насаждениях рассматриваемого участкового лесничества составляет 142 м³ га⁻¹, при этом средний запас спелых и перестойных древостоев (148.1 м³ га⁻¹) мало отличается от общего (табл. 2.5).

Преобладающими являются лесные сообщества зеленомошной и травяной групп типов, занимающие соответственно 42 и 41% лесопокрытой площади (рис. 2.5). Далее по площади представлена сфагновая группа типов (12%). На остальные (лишайниковые, горные и долгомошные группы типов) приходится 5% облесенной территории.

Общий запас углерода органического вещества в лесных экосистемах Верхне-Печорского участкового лесничества Печоро-Ильчского биосферного заповедника составляет 24 252.2 тыс. т., большая часть которых сосредоточена в почве (53%) и фитомассе древостоев (35%). На напочвенный покров и детрит приходится 8 и 4% соответственно. Значительная часть запасов углерода аккумулируется в еловой (75%) и березовой (10%) сообществах заповедника

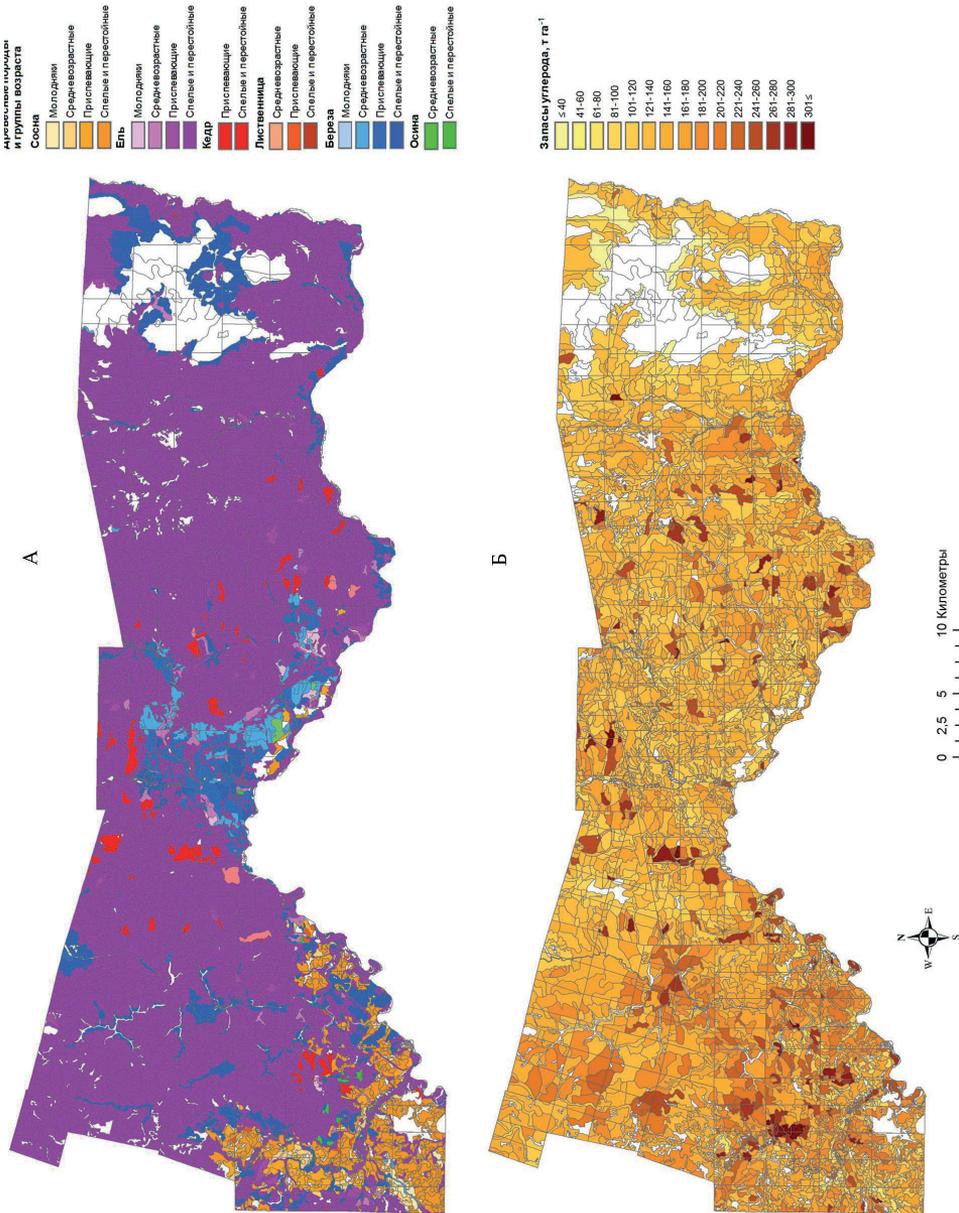


Рис. 2.4. План лесонасаждений (А) и запасы углерода органического вещества (Б) в лесных экосистемах Верхне-Печорского участка восточной лесничества Печоро-Ильчского биосферного заповедника.

Таблица 2.4

Распределение лесопокрытой площади, запасов древесины по преобладающим породам и возрастным группам в Верхне-Печорском участковом лесничестве

Формация	Всего	Группа возраста				
		Молодняки	Средне-возрастные	Приспевающие	Спелые	Перестойные
Сосновая	<u>10082</u> 1700.0	<u>384</u> 29.8	<u>892</u> 114.3	<u>2181</u> 338.8	<u>2919</u> 490.4	<u>3706</u> 727.0
Еловая	<u>120642</u> 18552.5	<u>437</u> 15.3	<u>1246</u> 132.0	<u>1762</u> 265.8	<u>20227</u> 3227.7	<u>96970</u> 14911.7
Кедровая	<u>2857</u> 581.9	<u>0</u> 0	<u>391</u> 87.6	<u>1313</u> 279.3	<u>732</u> 129.8	<u>421</u> 85.2
Лиственничная	<u>175</u> 38.5	<u>0</u> 0	<u>6</u> 0.7	<u>66</u> 12.7	<u>43</u> 9.2	<u>60</u> 15.9
Березовая	<u>18770</u> 1545.2	<u>4</u> 0.04	<u>2424</u> 123.4	<u>3724</u> 240.8	<u>2349</u> 198.6	<u>10269</u> 982.4
Осиновая	<u>333</u> 56.9	<u>0</u> 0	<u>153</u> 13.5	<u>0</u> 0	<u>35</u> 6.1	<u>145</u> 37.3
Прочие (ивовая, черемуховая)	<u>316</u> 11.7	<u>0</u> 0	<u>46</u> 0.9	<u>10</u> 0.3	<u>140</u> 5.5	<u>120</u> 5.0
Итого	<u>153175</u> 22487.0	<u>825</u> 45.1	<u>5158</u> 472.4	<u>9056</u> 1137.7	<u>26445</u> 4067.3	<u>111691</u> 16764.5

Примечание. В числителе – площадь, га; в знаменателе – запасы древесины, тыс. м³.

Таблица 2.5

Таксационная характеристика древостоев Верхне-Печорского участкового лесничества

Формация	Доля формации, %	Средние показатели				
		Класс возраста	Класс бонитета	Относительная полнота	Запас древесины, м ³ га ⁻¹	
					Всего	Спелые и перестойные
Сосновая	6.6	VII.1	IV.2	0.6	158	178
Еловая	78.8	VIII.6	IV.5	0.6	151	152
Кедровая	1.9	V.8	IV.7	0.6	205	197
Лиственничная	0.1	VII.2	III.4	0.7	219	265
Березовая	12.2	VIII.7	IV.6	0.7	83	101
Осиновая	0.2	VII.7	III.2	0.8	203	258
Прочие	0.2	VII.1	V.0	0.5	35	38
Итого	100	VIII.4	IV.5	0.6	142	148

(табл. 2.6). Следует отметить, что в настоящее время отсутствуют данные запасов углерода органического вещества в экосистемах ивняков и черемушников. Распределение углерода органического вещества на единице площади в лесных формациях представлено на рис. 2.4Б.

Национальный парк «Югыд ва» основан в 1994 г. Постановлением Правительства Российской Федерации. Его общая площадь по результатам землеустроительных и кадастровых оценок составляет 1 894 133 га (Положение...,

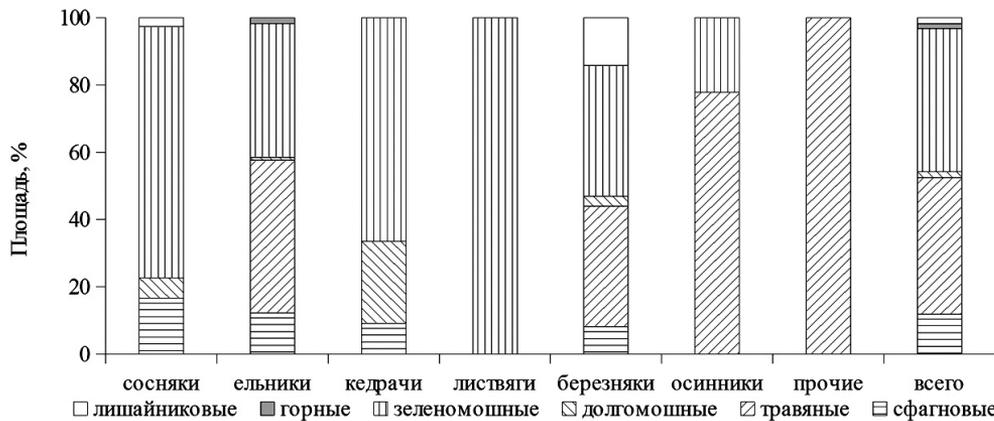


Рис. 2.5. Распределение лесопокрытой площади по группам типов леса в Верхне-Печорском участковом лесничестве.

Таблица 2.6

Распределение запасов углерода органического вещества лесных экосистем по преобладающим породам и компонентам в Верхне-Печорском участковом лесничестве, тыс. т

Формация	Компоненты экосистем				
	Древостой	Напочвенный покров	Детрит	Почва	Всего
Сосновая	644.5	37.2	29.1	848.0	1558.8
Еловая	7001.7	2057.0	774.1	9506.9	19339.8
Кедровая	221.1	27.1	47.1	485.4	780.8
Лиственничная	14.6	0.9	0.7	19.8	35.9
Березовая	546.8	15.0	22.3	1900.4	2484.6
Осиновая	21.6	0.4	1.9	28.3	52.2
Итого	8450.4	2137.8	875.2	12788.7	24252.2

2010). В пользование парку передана часть земель лесного фонда Печорского и Вуктыльского лесничеств (Постановление..., 1994).

Национальный парк расположен на западных склонах Приполярного и Северного Урала, на границе Европы и Азии в трех орографических зонах – горной, предгорной и низменной. Характер рельефа парка определяет пестроту почвенного покрова и его вертикальную зональность, которая проявляется в смене типов почв по высотному градиенту (Атлас..., 1964). Почвенный покров относительно однотипный, в предгорном районе формируют его глееподзолистые и горные лесные глееподзолистые потечно-гумусовые почвы, в районе Приполярного Урала – горно-тундровые и горно-лесные глееподзолистые потечно-гумусовые почвы (Атлас почв..., 2010).

По геоботаническому районированию парк расположен в крайнесеверной и северной подзонах тайги. В крайнесеверной тайге территория парка входит в Печоро-Уральскую подпровинцию Усинско-Косвинский елово-болотный и Южно-Приполярно-Уральский округа. На территории северной тайги парк размещается на территории Печоро-Уральской подпровинции Сыня-Печорском еловом заболоченном, Приуральском елово-пихтовом и Уральском темнохвойно-березово-горно-тундровом округах (Юдин, 1954).

Лесистость территории Национального парка «Югыд ва» – 51.9%. Лесопокрытая площадь его составляет 982 283 га. Господствуют еловые леса (67.1%), из них 80.8% – перестойные (табл. 2.7). Остальные хвойные фитоценозы (сосняки, кедрачи, лиственничники) занимают порядка 5% покрытой лесом территории парка. На долю мягколиственных насаждений приходится 27.8% лесов, среди которых преобладают перестойные березняки (72.3%).

Таблица 2.7

Распределение лесопокрытой площади, запасов древесины по преобладающим породам и возрастным группам в национальном парке «Югыд ва»

Формация	Всего	Группы возраста				
		Молодняки	Средне-возрастные	Приспевающие	Спелые	Перестойные
Сосновая	2889	185	384	66	1350	904
	222.5	6.0	35.4	8.5	101.5	71.1
Еловая	658593	1838	2415	19866	71519	562955
	85323.8	25.7	160.7	1883.4	7498.6	75755.4
Кедровая	149	0	0	135	14	0
	17.0	0	0	14.9	2.1	0
Лиственничная	47526	0	524	1889	13362	31751
	3351.7	0	19.4	100.4	806.8	2425.1
Березовая	271224	6371	14125	22571	30670	197487
	26692.1	59.1	229.6	1872.3	2130.4	22400.7
Осиновая	867	0	35	12	96	724
	179.8	0	4.7	1.2	17.2	156.7
Ивовая	1035	166	780	44	45	0
	25.7	3.2	20.2	1.2	1.1	0
Итого	982283	8560	18263	44583	117056	793821
	115812.6	94.0	470.0	3881.9	10557.7	100809.0

Примечание. В числителе – площадь, га; в знаменателе – запасы древесины, тыс. м³.

В лесных насаждениях национального парка сосредоточено 115 812.6 тыс. м³ древесины, из которых 73.7% концентрируется в ельниках, 23.0 – березняках, 3.3% – в остальных фитоценозах (табл. 2.7).

Возрастная структура лесов национального парка вариабельна, средний класс возраста по формациям меняется от III.5 до IX.2 (табл. 2.8). В зависимости от типа леса класс бонитета изменяется в пределах III.0-V.8. Древостой на территории резервата характеризуются низкой продуктивностью. В хвойных ценозах древостой IV-Vб классов бонитета составляют 100, мягколиственных – 99.6%. Леса преимущественно среднеполнотные. В целом, по резервату средняя относительная полнота насаждений – 0.6. Стволовой запас древесины невелик, в среднем для всех формаций составляет 119, в спелых и перестойных насаждениях – 125 м³ га⁻¹.

Распределение насаждений по группам типов леса представлено на рис. 2.6. Наиболее распространенными являются долгомошные, зеленомошные и травяные группы, занимающие соответственно 32.6, 31.8 и 28.8% покрытой лесом территории парка.

Общий пул углерода органического вещества в лесных экосистемах национального парка «Югыд ва», не включая в него запасы в сообществах ивняков и ерников, а также в детрите кедровых и мягколиственных ценозов, составил 139 707.7 тыс. т, из которых 68% сосредоточено в почве, 31 – в фитомассе, 1% – в древесном дебрисе (табл. 2.9).

Таблица 2.8

Таксационная характеристика древостоев национального парка «Югыд ва»

Формация	Доля формации, %	Средние показатели				
		Класс возраста	Класс бонитета	Относительная полнота	Запас древесины, м ³ га ⁻¹	
					Всего	Спелые и перестойные
Сосновая	0.3	VII.0	V.7	0.5	78	79
Еловая	67.1	VIII.5	V.2	0.6	138	140
Кедровая	0.01	V.1	IV.9	0.4	130	150
Лиственничная	4.8	VIII.4	V.8	0.4	79	81
Березовая	27.6	VII.8	V.2	0.6	100	107
Осиновая	0.1	IX.2	III.0	0.7	199	216
Ивовая	0.1	III.5	V.1	0.5	25	25
Итого	100	VIII.3	V.2	0.6	119	124

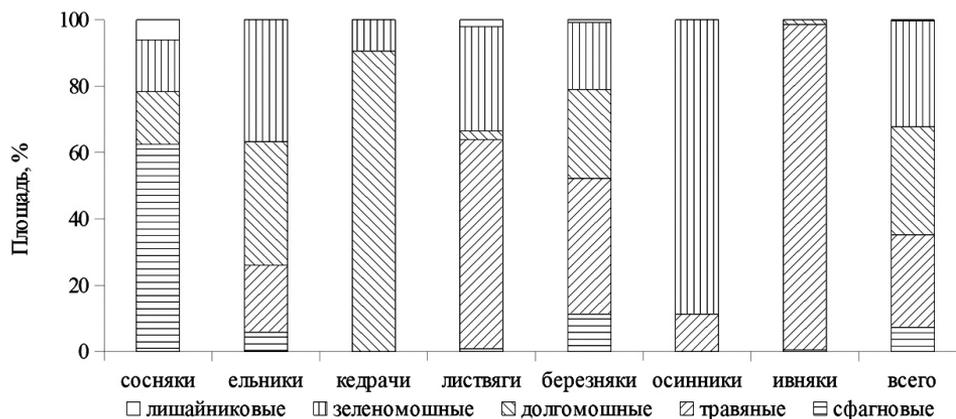


Рис. 2.6. Распределение лесопокрытой площади национального парка «Югыд ва» по группам типов леса.

Таблица 2.9

Распределение запасов углерода органического вещества в лесных экосистемах по преобладающим породам и компонентам в национальном парке «Югыд ва», тыс. т

Формация	Компоненты экосистем				
	Древостой	Напочвенный покров	Детрит	Почва	Всего
Сосновая	83.7	14.8	6.8	176.0	281.3
Еловая	27660.1	3058.4	1613.5	77356.8	109688.8
Кедровая	6.5	0.9	0	9.8	17.2
Лиственничная	1504.6	348.3	150.4	2623.4	4626.7
Березовая	9588.7	655.5	0	14732.0	24976.2
Осиновая	64.7	2.1	0	50.7	117.5
Итого	38908.3	4080.0	1770.7	94948.7	139707.7

Комплексный заказник «Сэбысь». Государственный природный комплексный заказник республиканского значения «Сэбысь» учрежден в 1993 г. Расположен на территории Ижемского, Ираельского и Малоперского участков лесничеств Сосногорского лесничества – от истока р. Сэбысь до впадения в нее р. Седмес. Охраняется эталон малонарушенных северотаежных ландшафтов центральной части Республики Коми. Площадь заказника – 171 456 га (Постановление..., 2012). По данным геоботанического районирования, резерват относится к подзоне северной тайги Тимано-Печорской подпровинции Тобыш Айювинскому еловому округу. Его территория расположена на Печорской низменности, представляющая четвертичные отложения. Рельеф равнинный, слабоувалистый (Юдин, 1954). Район сложен подзолами иллювиально-гумусово-железистыми, торфянисто-торфяно-подзолисто-глеевыми иллювиально-гумусовыми, глееподзолистыми и болотно-подзолистыми почвами (Атлас почв..., 2010).

Покрытая лесной растительностью площадь заказника «Сэбысь» занимает 155 899 га, или 90.9% его территории. Основной лесобразующей породой является ель, на долю которой приходится 59.6% (табл. 2.10). Еловые древостои на 90.7% представлены перестойными насаждениями. Сосновые леса покрывают 30.3% лесопокрытой площади заказника. В их возрастной структуре преобладают перестойные (46.7%) и средневозрастные (24.6%) древостои. Березняки с преобладанием старовозрастных древостоев занимают менее 10%. Доля лиственницы и ивы в структуре лесопокрытой площади незначительна. В древостоях заказника концентрируется 11 599.2 тыс. м³ древесины, 65.7% которой сосредоточены в еловых лесах. На долю сосняков приходится 26.6%, березняков – 7.3, ивняков и лиственничников – менее 1% от общих запасов древесины заказника.

Древостой заказника «Сэбысь» характеризуются высоким возрастом, низкой производительностью и полнотой (табл. 2.11). Возрастная структура лесов заказника вариабельна, средний класс возраста по породам колеблется от IV.8 до IX.5. Класс бонитета по формациям изменяется от VI.2 до V.8. Относительная полнота древостоев невелика, в среднем по резервату – 0.5. Про-

Таблица 2.10

Распределение лесопокрытой площади, запасов древесины по преобладающим породам и возрастным группам в заказнике «Сэбысь»

Формация	Всего	Группа возраста				
		Молодняки	Средне-возрастные	Приспевающие	Спелые	Перестойные
Сосновая	47228	8415	11604	2057	3115	22037
	3081.9	205.4	739.8	210.1	327.1	1599.5
Еловая	93009	4575	910	328	2837	84359
	7620.4	44.2	25.6	16.7	350.5	7183.4
Лиственничная	284	20	0	0	13	251
	43.9	0.1	0	0	2.5	41.3
Березовая	15274	2646	1311	3208	2489	5620
	847.8	19.6	29.8	189.3	230.1	379.0
Ивовая	104	0	69	35	0	0
	5.2	0	2.3	2.9	0	0
Итого	155899	15656	13894	5628	8454	112267
	11599.2	269.3	797.5	419	910.2	9203.2

Примечание. В числителе – площадь, га; в знаменателе – запасы древесины, тыс. м³.

Таблица 2.11

Таксационная характеристика древостоев заказника «Сэбысь»

Формация	Доля формации, %	Средние показатели				
		Класс возраста	Класс бонитета	Относительная полнота	Запас древесины, м ³ га ⁻¹	
					Всего	Спелые и перестойные
Сосновая	30.3	VI.0	V.4	0.5	66	76
Еловая	59.6	IX.1	V.8	0.5	84	89
Лиственничная	0.2	IX.5	IV.2	0.6	148	165
Березовая	9.8	VI.3	IV.7	0.6	54	74
Ивовая	0.1	IV.8	IV.7	0.6	43	0
Итого	100	VII.9	V.6	0.5	74	85

изводительность фитоценозов низкая, средний запас стволовой древесины составляет 74, в спелых и перестойных насаждениях – 85 м³ га⁻¹.

Преобладающей группой типов леса в заказнике является долгомошная (50.4%). Доля зеленомошной и сфагновой групп типов составляет 20.5 и 14.9% соответственно. Лишайниковые и травяные типы в лесопокрытой площади незначительны (рис. 2.7).

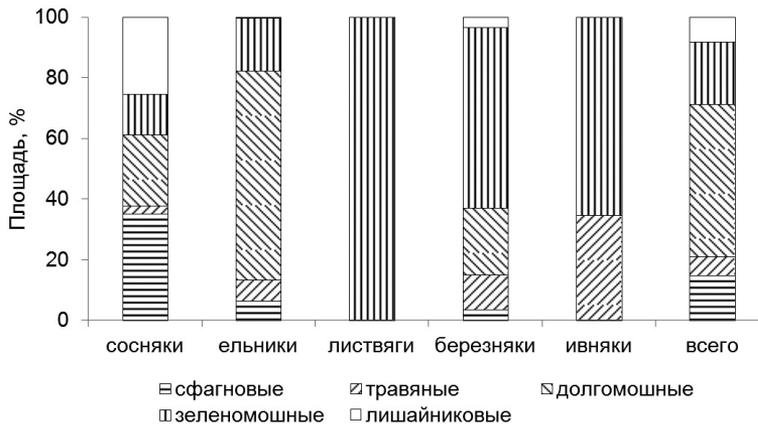


Рис. 2.7. Распределение лесопокрытой площади заказника «Сэбысь» по группам типов леса.

Лесные экосистемы заказника «Сэбысь» содержат 20 000.3 тыс. т углерода органического вещества (табл. 2.12). Три четверти от этих запасов аккумулирует верхний метровый слой почвы. Около 20% запасов углерода накоплено в древостоях. Напочвенный покров и древесный дебрис заключают 5% от запасов углерода в экосистемах. Средняя плотность углерода органического вещества составляет 156.9 т С га⁻¹, а наибольшая – 228.6 т С га⁻¹ – характерна перестойным ельникам кисличным. Небольшие запасы углерода (47 т га⁻¹) присущи лишайниковым соснякам.

Таблица 2.12

**Распределение запасов углерода органического вещества
по породам и компонентам в лесных экосистемах заказника «Сэбысь», тыс. т**

Формация	Компоненты				
	Древостой	Напочвенный покров	Детрит	Почва	Всего
Сосновая	1143.5	215.1	82.9	2722.8	4164.3
Еловая	2447.8	478.9	152.7	11519.1	14598.5
Лиственничная	20.2	2.1	2.0	15.7	40.0
Березовая	305.2	38.1	–	854.2	1197.5
Итого	3916.7	734.2	237.6	15111.8	20000.3

Комплексный заказник «Гажаягский». Государственный природный заказник республиканского значения «Гажаягский» учрежден в 1979 г. Резерват создан с целью сохранения природного комплекса заболоченных ландшафтов Печорской низменности. Заказник расположен на территории Пожнинского и Вожского участков лесничеств Сосногорского лесничества в междуречье Букрема и Верхнего Одеса (бассейн р. Ижма). Его площадь – 18 017 га (Постановление..., 2012).

По геоботаническому районированию охраняемая территория относится к северной подзоне тайги Тимано-Печорской подпровинции Припечорского елово-болотного округа. Рельеф округа равнинный и полого-увалистый, с частыми низинами и занятыми болотами. Сложен он мощным слоем глинистых и суглинистых отложений, местами перекрытый песчаными отложениями (Юдин, 1954). Почвы торфянисто- и торфяно-подзолисто-глеевые иллювиально-гумусовые, иллювиально-гумусово-железистые подзолы, глееподзолистые и болотно-подзолистые почвы (Атлас почв..., 2010).

Лесистость территории заказника – 92.5%. Лесопокрытая площадь его составляет 16 673 га. Основная площадь лесов (81.1%) представлена насаждениями сосны, главным образом спелыми и перестойными (рис. 2.8А). Ельники, преимущественно расположенные вдоль рек, занимают 13.5, березняки – 5.4% лесной площади. Участие кедра незначительное. В лесных насаждениях заказника сосредоточено 1707 тыс. м³ древесины, из которых 81.9 запасают сосняки, 13.0 – ельники, 5.1% – березняки. Основные запасы древесины (80.2%) – в спелых и перестойных древостоях (табл. 2.13).

Возрастная структура фитоценозов заказника «Гажаягский» неоднородная (табл. 2.14). Так, средние классы возраста по формациям колеблются от I.0 до V.3. Насаждения характеризуются относительно низкой продуктивностью. Средний класс бонитета – V.1. Среднеполнотные. Средний запас древесины в древостоях по всем формациям составляет 106, в спелых и перестойных – 137 м³ га⁻¹.

Доминирующей группой типов леса в заказнике является сфагновая (рис. 2.9). На ее долю приходится 48.7% лесопокрытой площади. Значительные территории занимают долгомошная (26.2%) и зеленомошная (22.4%) группы типов. Участие древостоев лишайникового типа составляет 2.7%.

В заказнике «Гажаягский» Н.Н. Гончаровой, С.В. Дегтевой, Ю.А. Дубровским (2007) в сосняках лишайниковых выделены три ассоциации: бруснично-лишайниковая, лишайниково-зеленомошная, бруснично-лишайниково-зеленомошная. Сосняки зеленомошные подразделили на бруснично-зеленомошный,

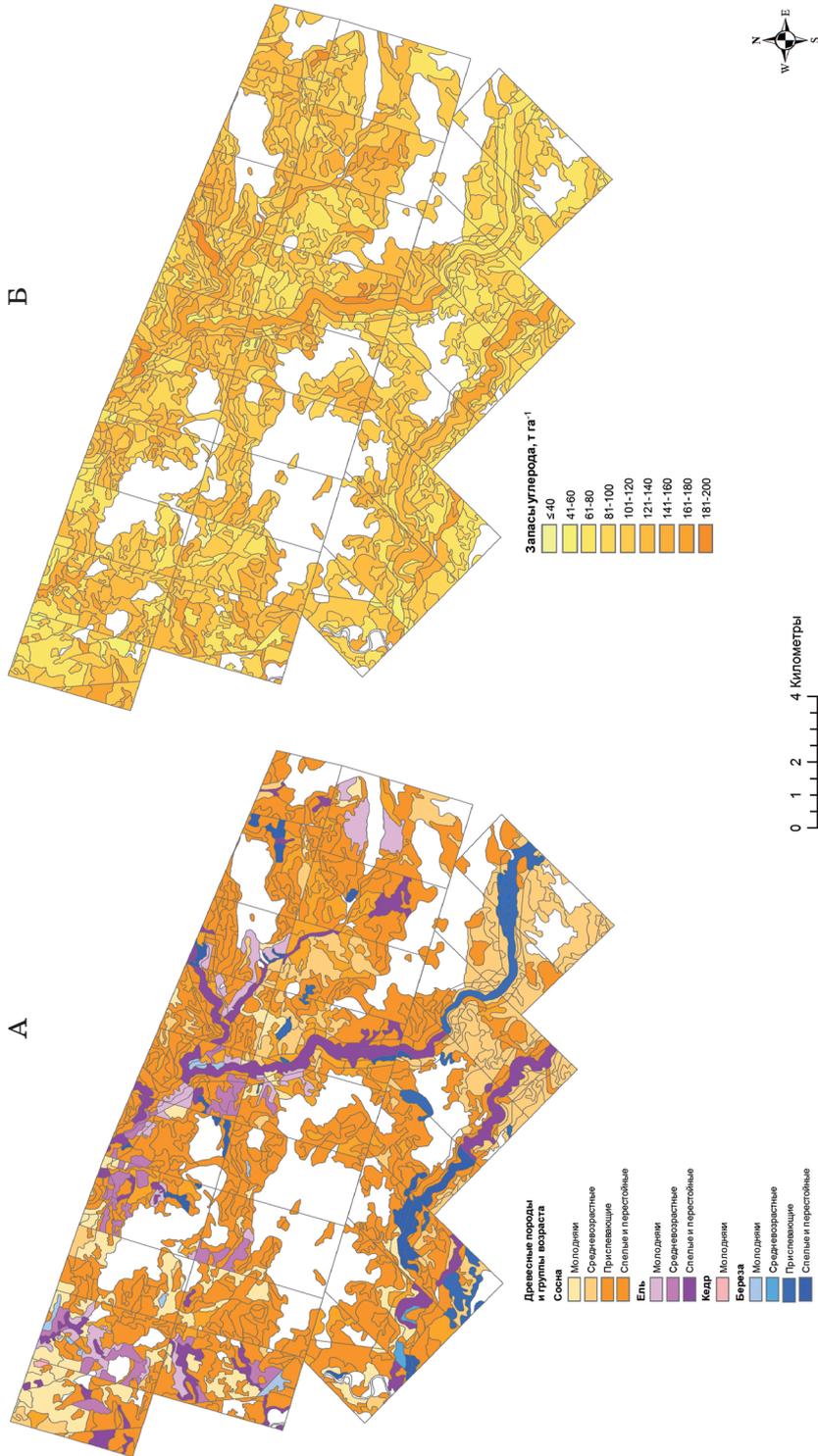


Рис. 2.8. План лесонасаждений (А) и запасы углерода органического вещества (Б) в лесных экосистемах заказника «Гажаягский».

Таблица 2.13

**Распределение лесопокрытой площади, запасов древесины
по преобладающим породам и возрастным группам в заказнике «Гажаягский»**

Формация	Всего	Группа возраста				
		Молодняки	Средне-возрастные	Приспевающие	Спелые	Перестойные
Сосновая	13527 1398.3	1183 23.0	2456 116.0	1128 146.6	4053 579.3	4707 533.4
Еловая	2245 222.0	593 10.9	511 12.9	0 0	590 108.1	551 90.1
Кедровая	6 0.1	6 0.1	0 0	0 0	0 0	0 0
Березовая	895 86.6	80 0.5	28 0.7	416 26.8	30 1.8	341 56.8
Итого	16673 1707	1862 34.5	2995 129.6	1544 173.4	4673 689.2	5599 680.3

Примечание. В числителе – площадь, га; в знаменателе – запасы древесины, тыс. м³.

Таблица 2.14

Таксационная характеристика древостоев заказника «Гажаягский»

Формация	Доля формации, %	Средние показатели				
		Класс возраста	Класс бонитета	Относительная полнота	Запас древесины, м ³ га ⁻¹	
					Всего	Спелые и перестойные
Сосновая	81.1	VI.0	V.3	0.6	111	134
Еловая	13.5	V.1	IV.9	0.6	86	157
Кедровая	0.03	I.0	V.0	0.8	30	0
Березовая	5.4	VI.5	IV.2	0.8	88	138
Итого	100	V.9	V.1	0.6	106	137

чернично-зеленомошный и багульниково-зеленомошный. В сфагновых типах сосняков ими выявлены чернично-сфагновые и багульниково-сфагновые ассоциации. В ельниках зеленомошных типов эти авторы выделяют хвощево-зеленомошные, папоротничково-зеленомошные и бруснично-зеленомошные ассоциации. Также описаны ассоциации ельников травяно-сфагновых, березняков кустарничково-долгомошных и травяных, осинников хвощево-сфагновых.

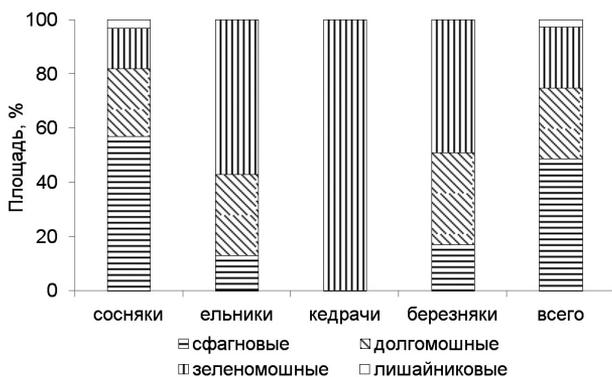


Рис. 2.9. Распределение лесопокрытой площади заказника «Гажаягский» по группам типов леса.

Авторами данного раздела монографии на территории заказника заложены пробные площади в сосняках багульниковом и бруснично-лишайниковом (см. приложение).

В лесных экосистемах заказника «Гажаягский» заключено 1922.9 тыс. т углерода органического вещества. Более чем половина его запасов (60.2%) приходится

на верхний метровый слой почвы, включая подстилку (табл. 2.15). На долю древостоев приходится 32.8%, растений напочвенного покрова – 4.6, детрита – 2.4%. В среднем 1 га лесопокрытой площади заказника аккумулирует 115.3 т углерода. Его более высокая плотность характерна для старовозрастных ельников черничных и долгомошных (182-198 тС га⁻¹) и сосняков черничных (156-177 тС га⁻¹), наименьшая – для молодняков сосняка лишайникового (47 тС га⁻¹). Содержание углерода в экосистемах заказника на 1 га с учетом формации приведено на рис. 2.8Б.

Таблица 2.15

Распределение запасов углерода органического вещества по породам и компонентам в лесных экосистемах заказника «Гажаягский», тыс. т

Формация	Компоненты				
	Древостой	Напочвенный покров	Детрит	Почва	Всего
Сосновая	526.3	74.5	43.3	860.3	1504.4
Еловая	73.1	10.8	4.3	249	337.2
Кедровая	0.03	0.02	0.001	0.2	0.3
Березовая	31.2	2.2	0	47.6	81
Итого	630.6	87.5	47.6	1157.1	1922.9

Комплексный заказник «Белая Кедва». Государственный природный заказник республиканского значения «Белая Кедва» организован в 1984 г. и имеет комплексный профиль. Он создан с целью сохранения и изучения уникальных природных ландшафтов Среднего Тимана. Охраняются карстовые формы рельефа, лиственничные и еловые леса эталонного типа, места обитания комплекса эндемичных растений северотаежной флоры с редкими видами. Резерват расположен в Кедвинском участковом лесничестве Ухтинского лесничества, в верхнем течении р. Белая Кедва (бассейн р. Ижма). Площадь охраняемой территории – 51.5 тыс. га (Постановление..., 2009).

Территория заказника расположена в подзоне северной тайги и по геоботаническому районированию входит в Тимано-Печорскую подпровинцию Ухтинско-Ижемского сосново-елового округа, занимающего пониженную часть Среднего Тимана, покрытого мощным покровом суглинистых и глинистых отложений. Рельеф преимущественно полого-увалистый (Юдин, 1954). Почвенный покров представлен глееподзолистыми, болотно-подзолистыми, низкорослыми лесными глееподзолистыми иллювиально-гумусовыми почвами (Атлас почв..., 2010).

Лесопокрытая площадь заказника равна 45 464 га, или 88.3% территории заказника. Более половины покрытой лесом площади (58.7%) занимают еловые леса, представленные главным образом спелыми и перестойными насаждениями (рис. 2.10А). Значительны площади березняков (23.9%). Лиственничными лесами покрыто 11.9, сосновыми – 5.5% от лесной площади. Преобладают спелые и перестойные насаждения (93.2%). Общий запас стволовой древесины в лесах резервата составляет 4851.3 тыс. м³. Их формационный состав следующий: 65Е17Лц6С12Б (табл. 2.16).

Средний класс возраста лесных насаждений – IX.2. Продуктивность низкая, средний класс бонитета – V.2. Преобладают среднеполнотные насаждения. Запас стволовой древесины древостоев рассматриваемого заказника составляет в среднем 108 м³ га⁻¹, при этом в спелых и перестойных фитоценозах он равен 116 м³ га⁻¹ (табл. 2.17).

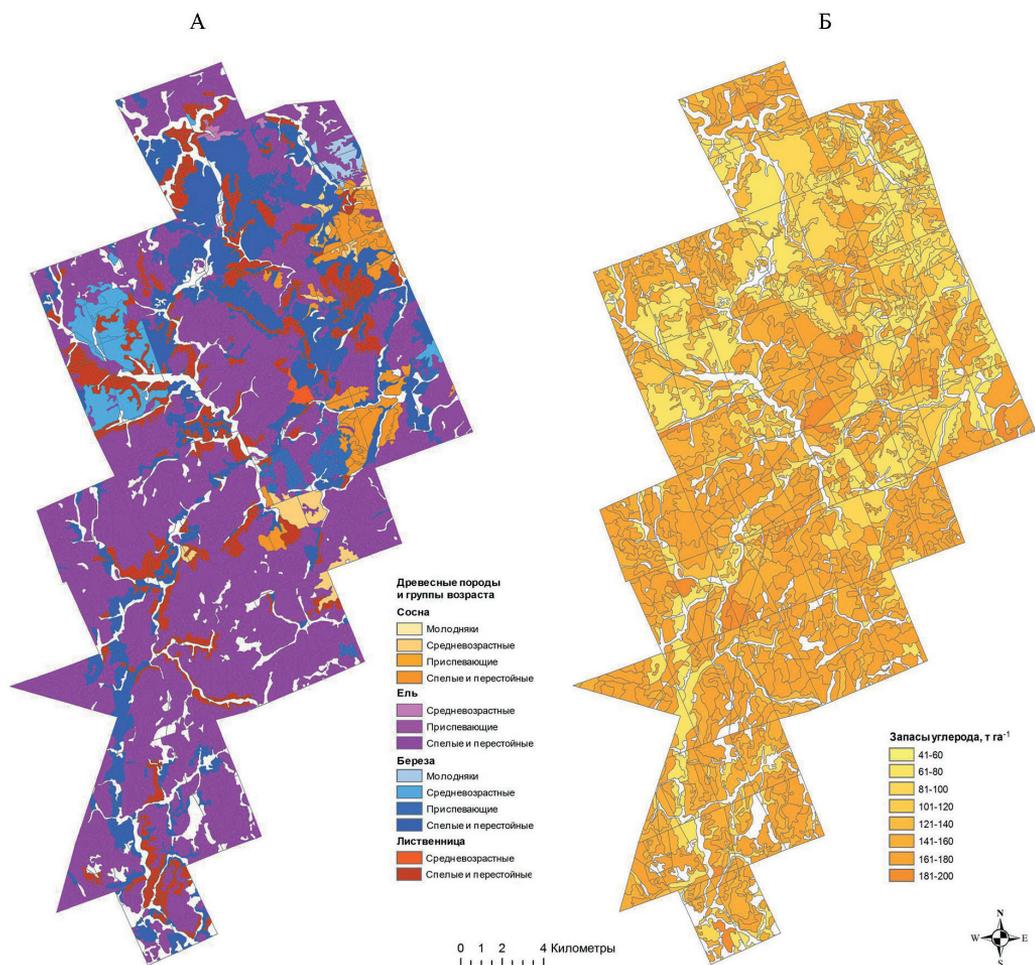


Рис. 2.10. План лесонасаждений (А) и запасы углерода органического вещества (Б) в лесных экосистемах заказника «Белая Кедва».

Таблица 2.16

Распределение лесопокрытой площади, запасов древесины по преобладающим породам и возрастным группам в заказнике «Белая Кедва»

Формация	Всего	Группа возраста				
		Молодняки	Средне-возрастные	Приспевающие	Спелые	Перестойные
Сосновая	2531 286.5	33 0.7	640 38.6	6 0.4	52 7.3	1800 239.5
Еловая	26686 3128.8	0 0	85 6.1	0 0	414 50.5	26187 3072.2
Лиственничная	5391 838.8	0 0	93 4.7	0 0	3 0.5	5295 832.8
Березовая	10856 598.0	230 2.3	1401 78.6	608 21.4	4984 297.3	3633 198.4
Итого	45464 4851.3	263 3.0	2219 128.0	614 21.8	5453 355.6	36915 4342.9

Примечание. В числителе – площадь, га; в знаменателе – запасы древесины, тыс. м³.

В заказнике преобладает долгомошная группа типов леса (59.5%). На долю лишайниковых насаждений приходится 13.5%, сфагновых – 9.7, травяных – 7.5, долгомошных – 6.1% от лесопокрытой площади заказника (рис. 2.11).

Общий пул углерода органического вещества лесных экосистем заказника «Белая Кедва» составляет 6360.3 тыс. т, 70% которого сосредоточено в еловых сообществах (табл. 2.18). Довольно большие (68.1%) его запасы находятся в верхнем метровом слое почвы. В древостоях аккумулируется 26.7%, в растениях напочвенного покрова – 3.5, в древесном дебрисе – 1.7%. Более высокая плотность углерода присуща экосистемам старовозрастных ельников долгомошных и черничных (175-202 тС га⁻¹) и лиственничников (184-204 тС га⁻¹). Содержание углерода в экосистемах заказника на 1 га приведено на рис. 2.10Б.

Таблица 2.17

Таксационные характеристики древостоев заказника «Белая Кедва»

Формация	Доля формации, %	Средние показатели				
		Класс возраста	Класс бонитета	Относительная полнота	Запас древесины, м ³ га ⁻¹	
					Всего	Спелые и перестойные
Сосновая	5.5	VII.8	V.0	0.6	114	131
Еловая	58.7	IX.5	V.3	0.6	114	115
Лиственничная	11.9	XI.4	IV.6	0.5	156	157
Березовая	23.9	VII.9	V.2	0.7	53	56
Итого	100	IX.2	V.2	0.6	108	116

Таблица 2.18

Распределение запасов углерода органического вещества по породам и компонентам в лесных экосистемах заказника «Белая Кедва», тыс. т

Формация	Компоненты				
	Древостой	Напочвенный покров	Детрит	Почва	Всего
Сосновая	100.5	12.7	4.7	139.7	257.6
Еловая	996.2	142.9	64.5	3260.0	4463.6
Лиственничная	385.5	40.3	38.5	297.6	761.9
Березовая	215.3	27.0	Нет данных	634.9	877.2
Итого	1697.5	222.9	107.7	4332.2	6360.3

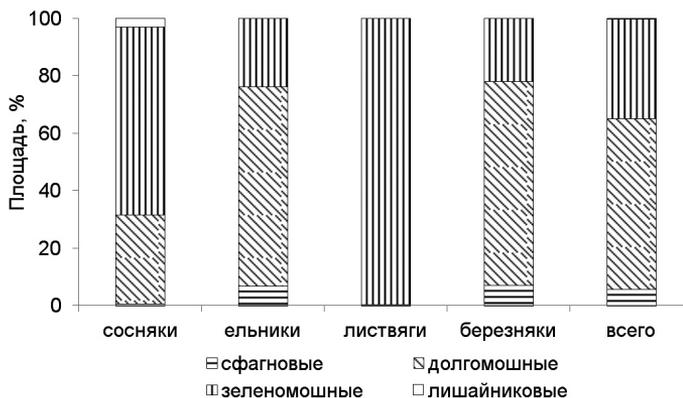


Рис. 2.11. Распределение лесопокрытой площади заказника «Белая Кедва» по группам типов леса.

Комплексный заказник «Удорский» учрежден в 1984 г. с целью сохранения уникального природного комплекса естественных лесов из ели сибирской III-IV классов бонитета, высокопродуктивных сосняков и лиственничников, редких видов растений, разнообразного животного мира, в том числе ценных видов рыб, места их обитания и нереста. Заказник расположен на территории Удорского лесничества, охватывает верхнее течение р. Мезень. Площадь заказника – 242 тыс. га (Постановление..., 1993).

Территория заказника расположена в подзоне северной тайги и по геоботаническому районированию относится к Тимано-Печорской подпровинции Средне-Тиманскому елово-лиственничному округу. Рельеф района крупнохолмистый, местами грядово-холмистый, сильно изрезанный. Межгрядовые понижения имеют равнинный характер, а обширные плато размыва – полого-увалистый. Округ сложен каменноугольным, пермскими и девонскими породами, которые прикрыты средней мощности слоем суглинистых четвертичных отложений (Юдин, 1954). Преобладают глееподзолистые, болотно-подзолистые почвы, иллювиально-гумусово-железистые подзолы, низкогорные лесные глееподзолистые иллювиально-гумусовые почвы (Атлас почв..., 2010).

Лесистость территории заказника «Удорский» составляет 90.3%. Покрывая лесной растительностью площадь заказника занимает 218 537 га. Распределение ее по породам и группам возраста неравномерное. Основную территорию занимают ельники, на долю которых приходится 74% лесопокрываемой площади. Преобладают перестойные леса, занимающие 90.2% лесопокрываемой площади заказника. Общий запас стволовой древесины на территории заказника составляет 26 177.7 тыс. м³, большая часть которых (74.8%) сконцентрирована в ельниках. В сосняках сосредоточено 20.8%, березняках – 3.4, лиственничниках и осинниках – 1.0% (табл. 2.19).

В заказнике «Удорский» преобладают старовозрастные насаждения. Средний класс возраста для древостоев резервата составляет IX.1. **Фитоценозы** характеризуются низкой продуктивностью. Средний класс бонитета – V.1. Среднеполнотные. Запас стволовой древесины в насаждениях охраняемой территории в среднем равен 117, в спелых и перестойных древостоях – 121 м³ га⁻¹ (табл. 2.20).

Таблица 2.19

Распределение лесопокрываемой площади, запасов древесины по преобладающим породам и возрастным группам в заказнике «Удорский»

Формации	Всего	Группа возраста				
		Молодняки	Средне-возрастные	Приспевающие	Спелые	Перестойные
Сосновая	43941	1314	5839	2481	2621	31686
	5450.2	17.7	690.0	400.0	368.1	3974.4
Еловая	161785	972	4342	135	1981	154355
	19592.3	28.7	118.2	22.0	247.4	19176.0
Лиственничная	1472	0	48	12	0	1412
	245.3	0	6.5	2.1	0	236.7
Березовая	11333	106	150	349	1130	9598
	888.1	1.3	4.1	25.0	107.3	750.4
Осиновая	6	0	0	0	6	0
	1.8	0	0	0	1.8	0
Итого	218537	2392	10379	2977	5738	197051
	26177.7	47.7	818.8	449.1	724.6	24137.5

Примечание. В числителе – площадь, га; в знаменателе – запасы древесины, тыс. м³.

Таблица 2.20

Таксационная характеристика древостоев заказника «Удорский»

Формация	Доля формации, %	Средние показатели				
		Класс возраста	Класс бонитета	Относительная полнота	Запас древесины, м ³ га ⁻¹	
					Всего	Спелые и перестойные
Сосновая	20.1	VIII.2	IV.8	0.5	122	127
Еловая	74.0	IX.2	V.2	0.6	119	122
Лиственничная	0.7	XII.2	IV.0	0.5	159	160
Березовая	5.2	X.3	V.3	0.6	76	80
Осиновая	0.003	VII.0	II.0	1.0	300	300
Итого	100	IX.1	V.1	0.6	117	121

Распределение насаждений по группам типов леса показывает, что на долю долгомощной и зеленомощной групп приходится 43.4 и 36.1% соответственно от всей лесопокрытой площади. Лишайниковыми типами представлены только сосняки (3.7%). Сфагновая группа типов леса занимает 16.8% лесной площади и включает в себя сосняки, ельники и березняки (рис. 2.12).

Общий запас углерода органического вещества в лесных экосистемах заказника составляет 27 750.4 тыс. т, из них в почве – 62.5%, древостоях – 32.2, растениях напочвенного покрова – 2.0, фитодетрите, включая сухостой, валеж и сухие ветви, – 3.3% (табл. 2.21). В среднем плотность органического углерода в лесных экосистемах заказника составляет 127 тС га⁻¹.

Таблица 2.21

Распределение запасов органического углерода по преобладающим породам и компонентам в лесных экосистемах заказника «Удорский», тыс. т

Формация	Компоненты				
	Древостой	Напочвенный покров	Детрит	Почва	Всего
Сосновая	6773.1	386.3	821.3	13071.9	21052.6
Еловая	1714.3	170.7	87.0	2920.0	4892.0
Лиственничная	99.1	7.4	5.0	166.2	277.7
Березовая	337.4	10.1	5.1	1174.9	1527.5
Осина	0.1	0.01	0.01	0.5	0.6
Итого	8924.0	574.5	918.4	17333.5	27750.4

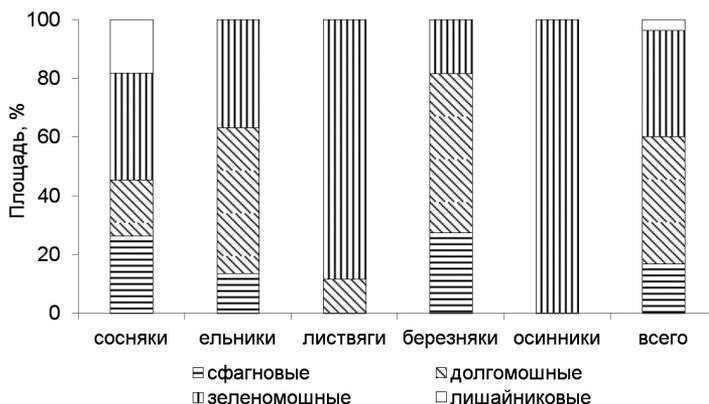


Рис. 2.12. Распределение лесопокрытой площади заказника «Удорский» по группам типов леса.

Комплексный заказник «Верхне-Вашкинский» образован в 1989 г. с целью сохранения уникального природного комплекса: лесного массива в верховьях р. Вашка для поддержания и регулирования водного режима реки, боров-беломошников – оленьих пастбищ, служащих кормовой базой Верхне-Вашкинской популяции дикого северного оленя, популяции бобров, редких растений. Заказник расположен на территории Междуреченского лесничества в истоках р. Вашка. Площадь – 80 тыс. га (Постановление..., 1993).

По геоботаническому районированию территория заказника расположена в подзоне средней тайги и относится к Вычегодско-Мезенской провинции Удорскому еловому округу. Рельеф района равнинный и полого-увалистый. Поверхность округа сложена мощным слоем четвертичных суглинистых и песчаных отложений, в основании которых лежат пермские породы (Юдин, 1954). Почвы типично подзолистые, торфянисто-подзолисто-глееватые иллювиально-гумусовые, иллювиально-железистые подзолы (Атлас почв..., 2010).

В данной работе к территории заказника «Верхне-Вашкинский» включены лесоустраительные кварталы целиком, а не части кварталов с охраняемыми трехкилометровыми полосами по берегам р. Вашка. Поэтому рассматриваемая территория составляет площадь 103.3 тыс. га. Лесистость резервата равна 89.7%. Распределение лесопокрытой площади заказника по породам и группам возраста неравномерное. Основными лесобразующими породами здесь являются ель и сосна, на долю которых приходится 67.5 и 21.4% соответственно от лесопокрытой площади. Преобладают перестойные насаждения, занимающие 80.1%. Общий запас стволовой древесины на рассматриваемой территории составляет 12 679.7 тыс. м³, из них в ельниках сконцентрировано 69.6%, сосняках – 22.5, березняках – 6.8, осинниках – 1.0, ивняках – 0.1 (табл. 2.22).

На территории заказника преобладают перестойные древостои. Средний класс их возраста равен VIII.4. Продуктивность переменна, класс бонитета по преобладающим породам изменяется от II.7 до V.0. Леса среднеполнотные. Запас стволовой древесины насаждений для всех возрастных групп составляет в среднем 138 м³ га⁻¹, при этом в спелых и перестойных древостоях в среднем сосредоточено древесины всего лишь на 6.6 м³ га⁻¹ больше (табл. 2.23).

Таблица 2.22

Распределение лесопокрытой площади, запасов древесины по преобладающим породам и возрастным группам в заказнике «Верхне-Вашкинский»

Формация	Всего	Группа возраста				
		Молодняки	Средне-возрастные	Приспевающие	Спелые	Перестойные
Сосновая	19835	775	1476	668	1229	15687
	2850.7	9.8	238.3	102.2	239.7	2260.7
Еловая	62630	1888	3276	460	2923	54083
	8830.1	17.4	197.0	77.8	657.2	7880.7
Березовая	9367	2188	1364	169	1581	4065
	858.9	23.0	47.6	11.1	151.0	626.2
Осиновая	546	0	0	35	48	463
	121.3	0	0	2.2	2.2	116.9
Ивовая	332	0	31	256	45	0
	18.7	0	0.8	14.3	3.6	0
Итого	92710	4851	6147	1588	5826	74298
	12679.7	50.2	483.7	207.6	1053.7	10884.5

Примечание. В числителе – площадь, га; в знаменателе – запасы древесины, тыс. м³.

Таблица 2.23

Таксационная характеристика древостоев заказника «Верхне-Вашкинский»

Формация	Доля формации, %	Средние показатели				
		Класс возраста	Класс бонитета	Относительная полнота	Запас древесины, м ³ га ⁻¹	
					Всего	Спелые и перестойные
Сосновая	21.4	VIII.7	IV.8	0.6	142	143
Еловая	67.5	VIII.7	V.0	0.6	143	150
Березовая	10.1	VI.2	III.9	0.7	98	137
Осиновая	0.6	XI.6	II.7	0.7	186	203
Ивовая	0.5	V.1	IV.1	0.7	56	78
Итого	100	VIII.4	IV.9	0.6	138	145

Распределение фитоценозов по группам типов леса неравномерное (рис. 2.13). Долгомощная и зеленомощная группы составляют соответственно 48.0 и 29.9% лесопокрытой площади. Лишайниковыми типами представлены только сосняки. Сфагновая группа типов леса, образованная сосняками, ельниками, березняками и ивняками, занимает 21.6% площади, покрытой лесом.

Общий запас углерода органического вещества в лесных экосистемах заказника составляет 12 736.6 тыс. т, из них в почве – 60.0%, древостое – 34.7, растениях напочвенного покрова – 1.9, фитодетрите, включая сухостой, валяж и сухие ветви, – 3.4% (табл. 2.24). В среднем плотность углерода органического вещества в лесных экосистемах заказника составляет 137.4 тС га⁻¹.

Таблица 2.24

Распределение запасов углерода органического вещества по преобладающим породам и компонентам в лесных экосистемах заказника «Верхне-Вашкинский», тыс. т

Формация	Компоненты				
	Древостой	Напочвенный покров	Детрит	Почва	Всего
Сосновая	913.4	84.6	44.9	1382.7	2425.6
Еловая	3135.9	143.1	387.6	5144.7	8811.3
Березовая	326.4	8.9	5.5	1069.6	1410.4
Осиновая	38.8	0.6	3.5	46.4	89.3
Итого	4414.5	237.2	441.5	7643.4	12736.6

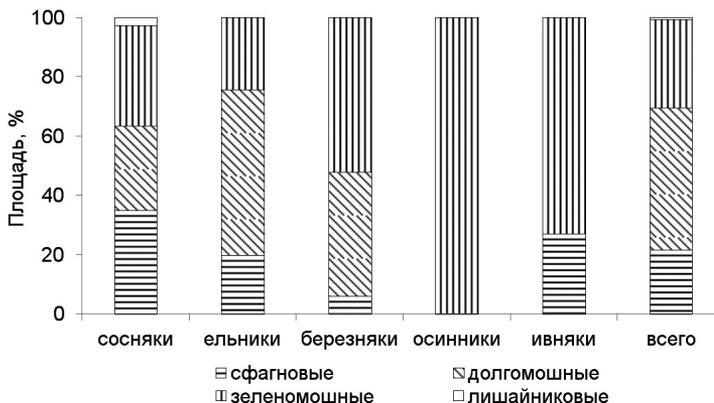


Рис. 2.13. Распределение лесопокрытой площади заказника «Верхне-Вашкинский» по группам типов леса.

Комплексный заказник «Синдорский» создан в 1989 г. с целью сохранения природного комплекса средней тайги. В заказнике охраняются животный и растительный мир сосновых и березовых молодняков, окружающих оз. Синдорское. Заказник расположен на территории Синдорского участкового лесничества Железнодорожного лесничества. Его площадь 11.0 тыс. га (Постановление..., 1989).

Заказник располагается в подзоне средней тайги и по геоботаническому районированию входит в Вишерский елово-болотный округ Вычегодско-Мезенской подпровинции. Сложен округ пермскими, триасовыми и юрскими породами, перекрытыми мощным слоем четвертичных отложений, преимущественно супесчаных и суглинистых моренных. Его поверхность равнинная, плоско-волнистая. Имеются обширные низменности, представляющие собой остатки большого озерного бассейна. Наиболее крупной является впадина Синдорского озера с прилегающими болотами (Атлас..., 1964). Почвенный покров относительно однотипный, формируют его типичные подзолистые, торфянисто-подзолисто-глееватые иллювиально-гумусовые почвы, иллювиально-железистые подзолы (Атлас почв..., 2010).

Лесистость территории комплексного заказника «Синдорский» – 70.9%. Его лесопокрытая площадь равна 7798 га, из которых 49.9% занято сосновыми молодняками (рис. 2.14А). Четвертую часть территории между собой делят перестойные насаждения сосняков и ельников. На березняки приходится 17.3% облесенной площади, из которой 80.4% занимают средневозрастные сообщества. Лесные экосистемы заказника «Синдорский» концентрируют 703.7 тыс. м³ древесины, из них на сосняки приходится 62.6%, ельники – 14.6, березняки – 19.0, осинники – 3.8% (табл. 2.25).

Средний класс возраста лесов заказника составляет IV.2. Их продуктивность в среднем по формациям изменчива. В хвойных фитоценозах преобладают низкобонитетные, а в мягколиственных – высокобонитетные древостой. Их относительная полнота в среднем по заказнику равна 0.8. Производительность насаждений рассматриваемых фитоценозов невелика, в среднем запас древесины составляет 91, а для спелых и перестойных насаждений – 120 м³ га⁻¹ (табл. 2.26).

Таблица 2.25

Распределение лесопокрытой площади, запасов древесины по преобладающим породам и возрастным группам в заказнике «Синдорский»

Формации	Всего	Группа возраста				
		Молодняки	Средне-возрастные	Приспевающие	Спелые	Перестойные
Сосновая	5530	3892	272	49	68	1249
	440.3	257.5	36.3	8.0	5.7	132.8
Еловая	776	43	105	0	6	622
	103.0	1.9	7.6	0	0.5	93.0
Березовая	1349	20	1084	151	59	35
	133.4	0.3	100.1	16.2	10.3	6.5
Осиновая	143	0	143	0	0	0
	27.0	0	27.0	0	0	0
Итого	7798	3955	1604	200	133	1906
	703.7	259.7	171.0	24.2	16.5	232.3

Примечание. В числителе – площадь, га; в знаменателе – запасы древесины, тыс. м³.

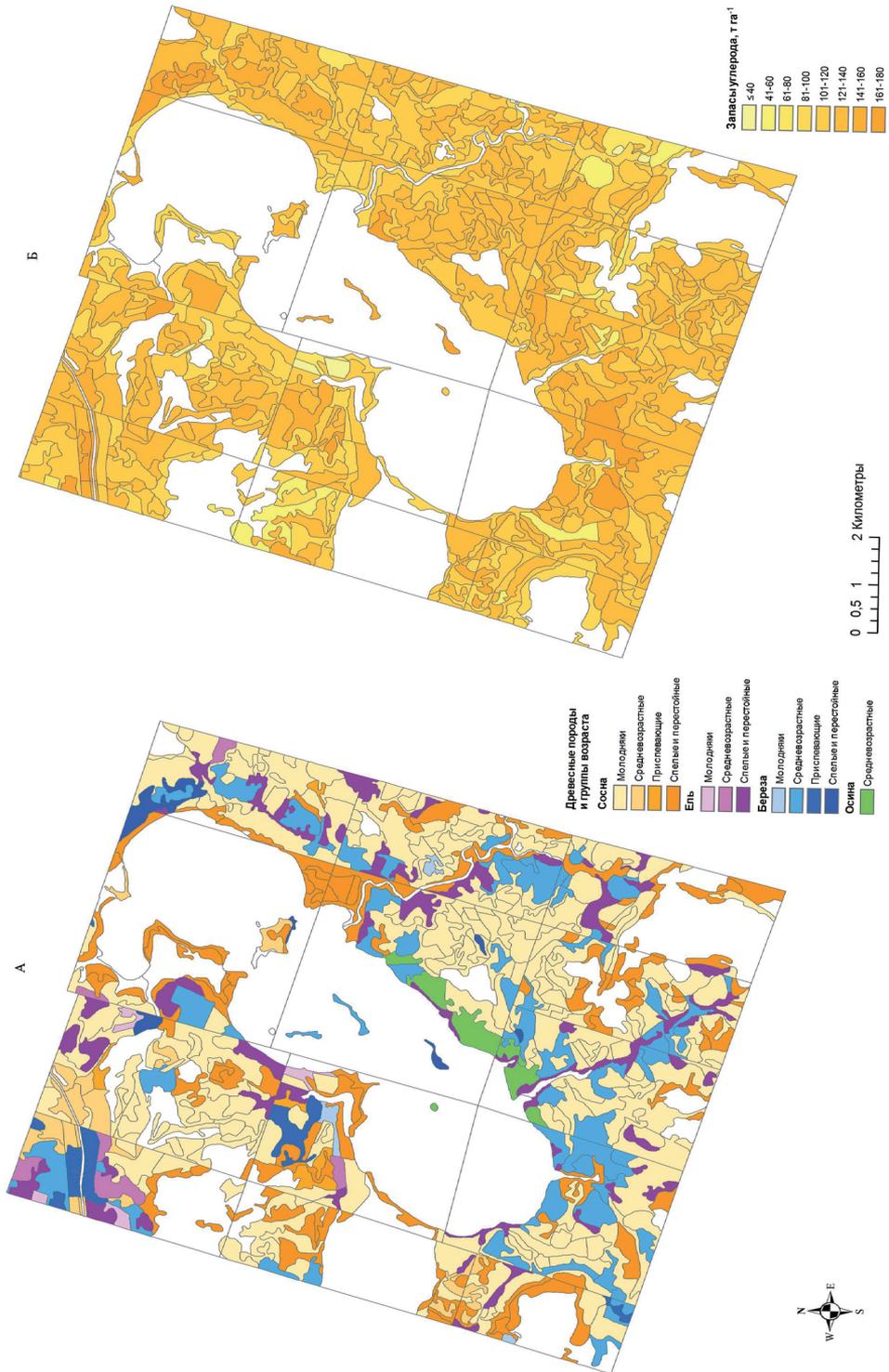


Рис. 2.14. План лесонасаждений (А) и запасы углерода органического вещества (Б) в лесных экосистемах заказника «Синдорский».

Таблица 2.26

Таксационная характеристика древостоев заказника «Синдорский»

Формация	Доля формации, %	Средние показатели				
		Класс возраста	Класс бонитета	Относительная полнота	Запас древесины, м ³ га ⁻¹	
					Всего	Спелые и перестойные
Сосновая	70.9	III.7	IV.6	0.8	82	105
Еловая	10.0	VII.7	V.2	0.6	130	142
Березовая	17.3	IV.3	II.8	0.9	95	165
Осиновая	1.8	IV.0	I.0	1.0	18	0
Итого	100	IV.2	IV.3	0.8	91	120

Распределение насаждений по группам типов леса представлено на рис. 2.15. Самая многочисленная сфагновая группа занимает 44.1%, долгомошная – 27.6, зеленомошная – 27.7% лесопокрытой площади. Лишайниковыми типами представлены только сосняки (0.6%).

Общий запас углерода органического вещества в лесных экосистемах заказника «Синдорский» составляет 952.8 тыс. т, из них концентрируется в почве 79.6%, древостое – 17.1, растениях напочвенного покрова – 2.3, детрите, включая сухостой, валеж и сухие ветви, – 1.0% (табл. 2.27). Содержание углерода в экосистемах заказника на 1 га приведено на рис. 2.14Б.

Таблица 2.27

Распределение запасов углерода органического вещества по преобладающим породам и компонентам в лесных экосистемах заказника «Синдорский», тыс. т

Формация	Компоненты				
	Древостой	Напочвенный покров	Детрит	Почва	Всего
Сосновая	101.6	18.9	4.1	539.9	664.5
Еловая	22.7	1.7	2.9	63.0	90.3
Березовая	34.0	1.3	1.3	154.4	191.0
Осиновая	5.1	0.2	0.5	1.2	7.0
Итого	163.4	22.1	8.8	758.5	952.8

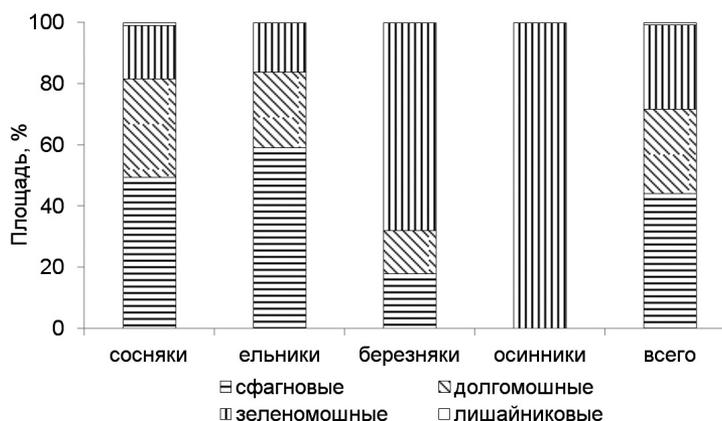


Рис. 2.15. Распределение лесопокрытой площади заказника «Синдорский» по группам типов леса.

Лесной заказник «Ляльский» расположен в подзоне средней тайги на территории Кылтовского участкового лесничества Железнодорожного лесничества, часть территории которого площадью 700 га в 1989 г. объявлена лесным заказником республиканского значения (Постановление..., 1993). На территории заказника функционирует лесоэкологический стационар Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Он является экспериментальной базой для изучения закономерностей развития таежных лесов – главных продуцентов природных комплексов на севере европейской части России. Заказник расположен на водосборе р. Мая, правого притока р. Вымь. Рельеф территории стационара равнинный. Плоские пространства с уклонами 1-3° прорезаны долинами р. Мая и ее притоков (Водорегулирующая роль..., 1990).

Территория района исследований является частью Вишерского елово-болотного округа Вычегодско-Мезенской подпровинции. Поверхность округа покрыта четвертичными отложениями мощностью в десятки метров (Атлас..., 1964). В заказнике выделены следующие типы почв: подзолистые, болотно-подзолистые, торфяно-болотные (Забоева, 1975). Основную часть площади (около 80%) занимают подзолистые почвы, которые формируются как на двучленных, так и на одночленных отложениях под хвойными и лиственно-хвойными лесами с моховым, кустарничково-моховым или мохово-травяным покровом (Водорегулирующая роль..., 1990).

Лесопокрытая площадь в заказнике составляет 696 га, лесистость его территории – 99.4% (рис. 2.16А). Леса характеризуются преобладанием сосновых насаждений, занимающих 45.7% покрытой лесом площади. Далее следуют березняки, покрывающие 35.3% лесопокрытой территории резервата. Ельники произрастают на площади 132 га. Запасы древесины в лесах заказника составляют 57.4 тыс. м³. Формационный состав насаждений следующий: 41С31Е28Б (табл. 2.28).

Насаждения заказника представлены как типично коренными хвойными, так и вторичными лесами, образовавшимися в результате сплошнолесосечных рубок. Средний класс возраста насаждений – V.1. В лесах заказника распространены среднеполнотные насаждения. Класс бонитета для них равен IV.2. Производительность их невелика, в среднем запасы древесины по заказнику составляют 88 м³ га⁻¹ (табл. 2.29).

Сосняки представлены только зеленомошной (70.8%) и долгомошной (29.2%) группами типов. Наиболее распространены ельники долгомош-

Таблица 2.28

Распределение лесопокрытой площади, запасов древесины по преобладающим породам и возрастным группам в лесном заказнике «Ляльский»

Формация	Всего	Группа возраста				
		Молодняки	Средне-возрастные	Приспе-вающие	Спелые	Перестойные
Сосновая	318	109	122	24	63	0
	23.4	3.3	11.3	1.4	7.4	0
Еловая	132	0	7	6	0	119
	17.7	0	0.3	0.7	0	16.7
Березовая	246	0	95	79	18	54
	16.3	0	4.4	6.6	1.1	4.2
Итого	696	109	224	109	81	173
	57.4	3.3	15.9	8.6	8.5	20.9

Примечание. В числителе – площадь, га; в знаменателе – запасы древесины, тыс. м³.

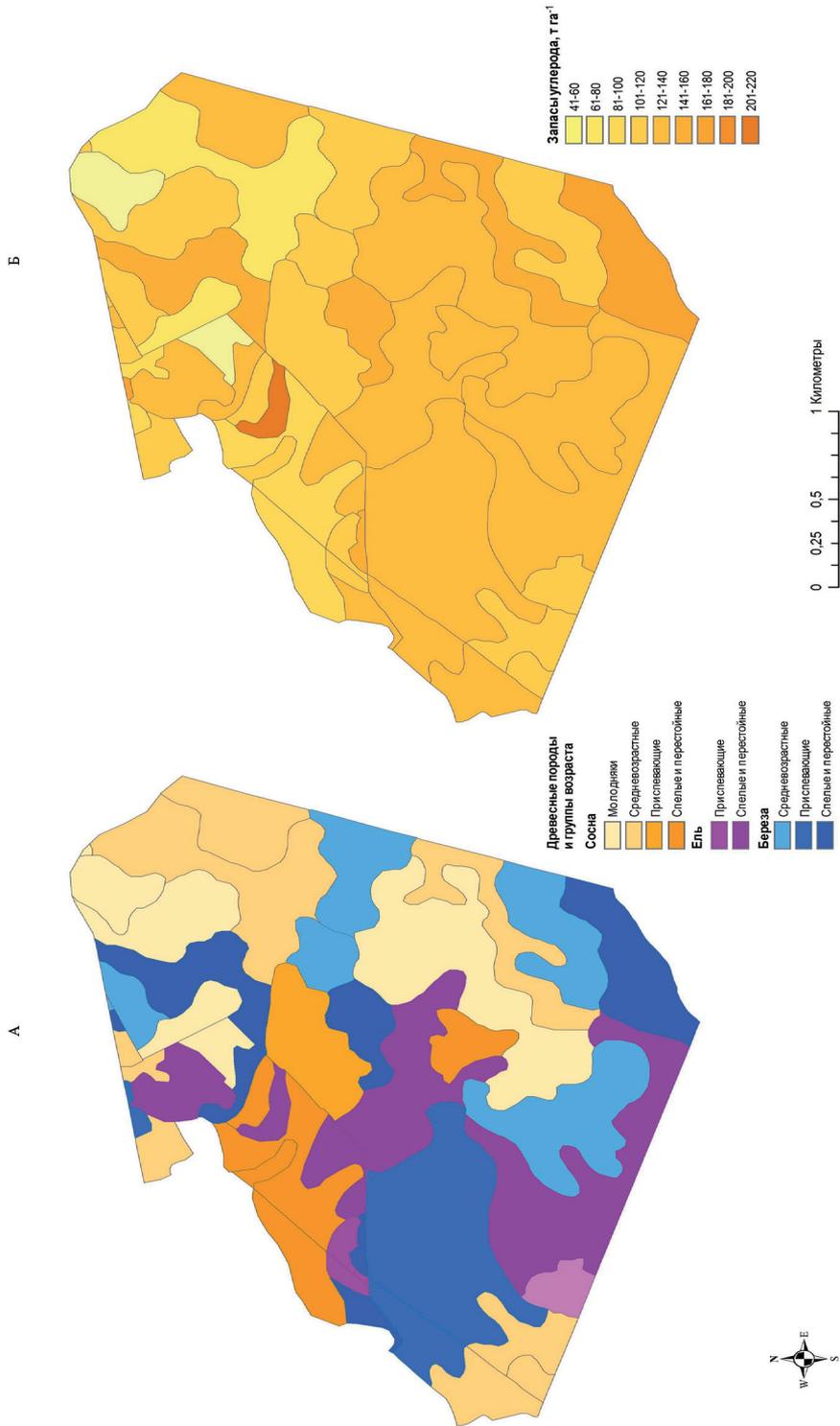


Рис. 2.16. План лесонасаждений (А) и запасы углерода органического вещества (Б) в лесных экосистемах лесного заказника «Пяль-ский».

Таблица 2.29

Таксационные показатели древостоев заказника «Ляльский»

Формация	Доля формации, %	Средние показатели				
		Класс возраста	Класс бонитета	Относительная полнота	Запас древесины, м ³ га ⁻¹	
					Всего	Спелые и перестойные
Сосновая	45.7	III.5	IV.4	0.6	97	146
Еловая	17.0	VIII.4	IV.9	0.6	121	141
Березовая	35.3	V.4	III.8	0.7	61	65
Итого	100	V.1	IV.2	0.6	88	111

ные – 56.8%. Лиственные насаждения представлены в основном зеленомошной группой типов леса (98.0%). Для территории лесного заказника характерно преобладание (73.6%) зеленомошной группы типов леса. Долгомошные типы занимают 24.9%. Травяными типами заняты лишь ельники (рис. 2.17).

Известно, что количество углерода, поглощаемое лесами, прямо пропорционально количеству фитомассы, продуцируемой ими. Общие запасы углерода в лесных экосистемах резервата изменяются от 60 до 210 т га⁻¹ в зависимости от лесорастительных условий (см. рис. 2.16Б). В лесных экосистемах заказника «Ляльский» сосредоточено 83.0 тыс. т углерода, из них 74.7% запасается в почве, 22.5 – в древостоях, 1.5 – в растениях напочвенного покрова и 1.3% – в детрите (табл. 2.30). Наибольшее количество углерода сосредоточено в средневозрастных и спелых насаждениях, а наименьшее – в молодняках. В среднем плотность одного гектара покрытой лесом площади заказника составляет 119.3 т органического углерода.

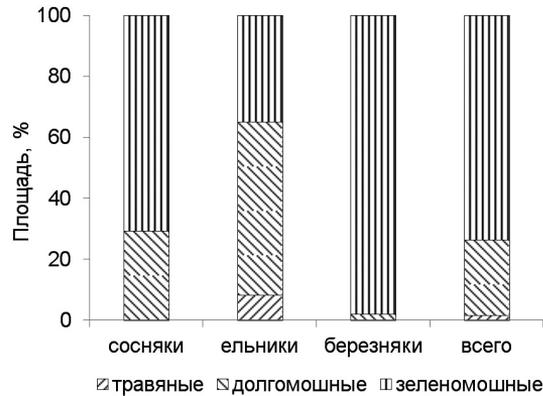


Рис. 2.17. Распределение лесопокрытой площади заказника «Ляльский» по группам типов леса.

Таблица 2.30

Распределение запасов углерода органического вещества по преобладающим породам и компонентам в лесных экосистемах лесного заказника «Ляльский», тыс. т

Формация	Компоненты				
	Древостой	Напочвенный покров	Детрит	Почва	Всего
Сосновая	6.9	0.7	0.2	25.6	33.4
Еловая	5.6	0.3	0.7	10.7	17.3
Березовая	6.2	0.2	0.2	25.7	32.3
Итого	18.7	1.2	1.1	62.0	83.0

Комплексный заказник «Белый» организован в 1989 г. с целью сохранения природного комплекса (ландшафта) боров-беломошников. Территория размещается в Часовском участковом лесничестве Чернамского лесничества. Площадь заказника – 7757 га (Постановление..., 2006).

Рассматриваемый объект относится к Вишерскому елово-болотному округу Вычегодско-Мезенской подпровинции. В основании рельефа лежат докембрийские кристаллические породы, перекрытые толщей малонарушенных осадочных пород. Водораздельные пространства сложены пермскими песчаниками, глинами, мергелями триасовой системы. Эти породы перекрыты четвертичными отложениями московского оледенения. Почвенный покров формируют типичные подзолистые иллювиально-железистые подзолы, торфянисто-подзолисто-глеватые иллювиально-гумусовые почвы (Атлас..., 1997; Атлас почв..., 2010).

Покрытая лесной растительностью площадь заказника «Белый» занимает 7329 га, или 94.5% от его общей площади. Основной лесобразующей породой является сосна, на долю которой приходится 88.2% (рис. 2.18А). ДревоСТОИ сосняков преимущественно средневозрастные (62.6%). Ель занимает 636 га и представлена в основном перестойными насаждениями. Лиственные породы покрывают площадь в 227 га. В фитоценозах заказника сосредоточено 947.9 тыс. м³ древесины, 84.9% которой образуют сосновые древоСТОИ. В целом, 97.1% запаса древесины заключено в хвойных насаждениях. Значительная часть древесины (62.7%) сконцентрирована в средневозрастных древоСТОИях (табл. 2.31).

Средний класс возраста древоСТОИев равен IV.2. Продуктивность невелика. Преобладают среднеполнотные насаждения. Производительность древоСТОИев фитоценозов резервата в среднем для охраняемой территории составляет 138 м³ га⁻¹ (табл. 2.32).

Таблица 2.31

Распределение лесопокрытой площади, запасов древесины по преобладающим породам и возрастным группам в заказнике «Белый»

Формации	Всего	Группа возраста				
		Молодняки	Средне-возрастные	Приспевающие	Спелые	Перестойные
Сосновая	6466	1298	4047	418	225	478
	805.1	67.6	580.4	78.4	23.5	55.2
Еловая	636	3	67	41	52	473
	115.0	0.03	11.4	6.6	7.8	89.2
Березовая	223	1	33	37	102	50
	27.1	0.04	1.8	5.3	13.1	6.9
Осиновая	4	0	4.2	0	0	0
	0.6	0	0.6	0	0	0
Итого	7329	1302	4151	496	379	1001
	947.9	67.6	594.2	90.3	44.4	151.3

Примечание. В числителе – площадь, га; в знаменателе – запасы древесины, тыс. м³.

Таблица 2.32

Таксационная характеристика древоСТОИев заказника «Белый»

Формация	Доля формации, %	Средние показатели				
		Класс возраста	Класс бонитета	Относительная полнота	Запас древесины, м ³ га ⁻¹	
					Всего	Спелые и перестойные
Сосновая	88.2	III.8	IV.7	0.6	131	112
Еловая	8.7	VII.8	IV.9	0.6	195	212
Березовая	3.0	VI.3	IV.5	0.7	126	156
Осиновая	0.1	IV.0	III.0	0.7	150	0
Итого	100	IV.2	IV.7	0.6	138	170

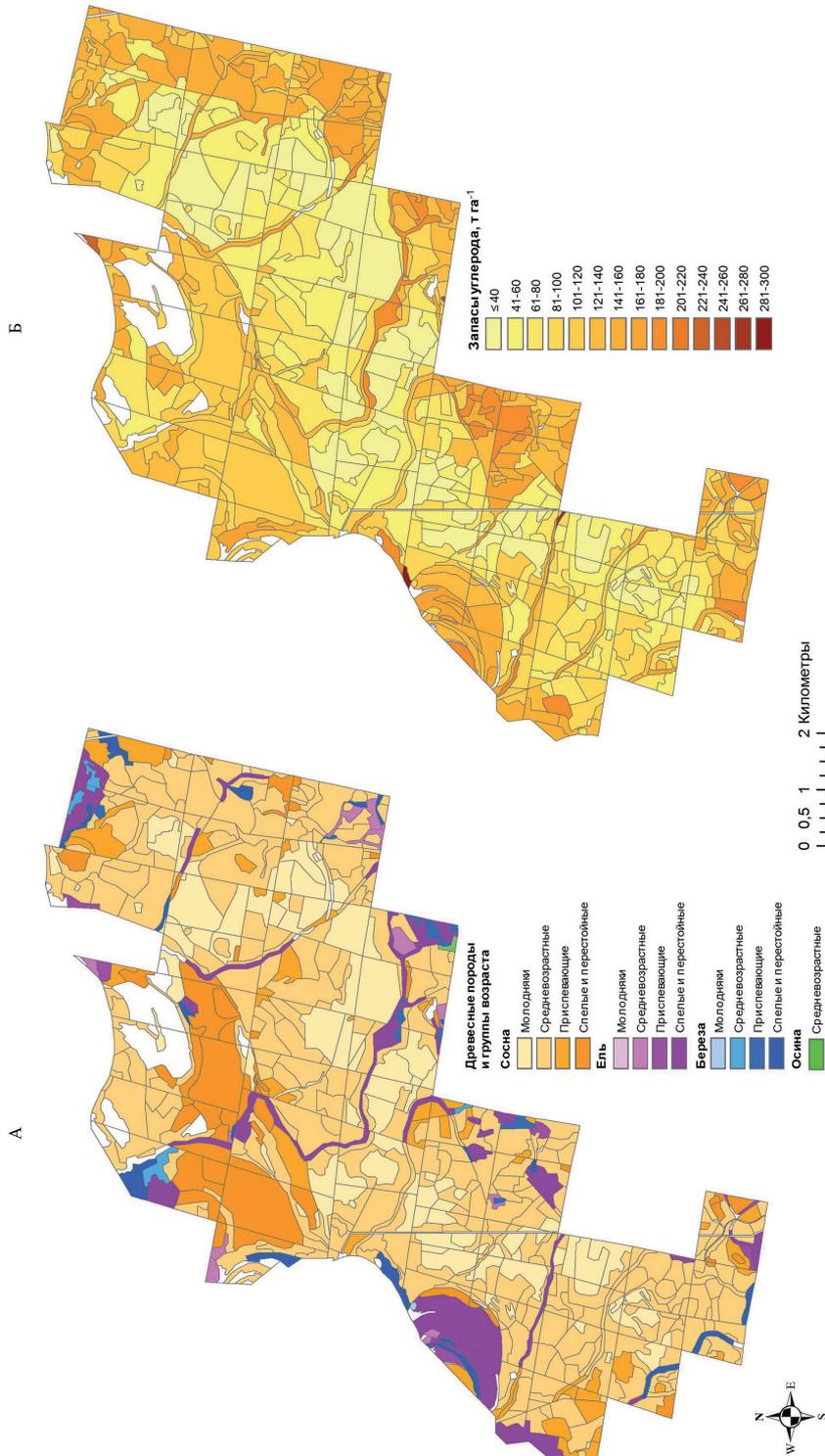


Рис. 2.18. План лесонасаждений (А) и запасы углерода органического вещества (Б) в лесных экосистемах заказника «Белый».

Преобладающими группами типов леса в заказнике являются лишайниковые (49.3%) и зеленомошные (29.5%). Сфагновая, долгомошная и травяная группы типов занимают соответственно 15.0, 4.1 и 2.1% лесопокрытой площади (рис. 2.19).

Общий пул углерода органического вещества в лесных экосистемах заказника «Белый» составляет 709.1 тыс. т, из которых 51.2% сосредоточено в почве, 42.3 – в фитомассе, 3.9% – в древесном дебрисе (табл. 2.33). Пыльцевая аккумуляция углерода заказника приведена на рис. 2.18Б. Наибольшее количество углерода присуще ельникам и березнякам кисличным, общий пул которых составляет 235-287 тС га⁻¹, наименьшее – соснякам лишайниковым (22-98 тС га⁻¹). В среднем плотность углерода органического вещества в лесных экосистемах заказника составляет 97 тС га⁻¹.

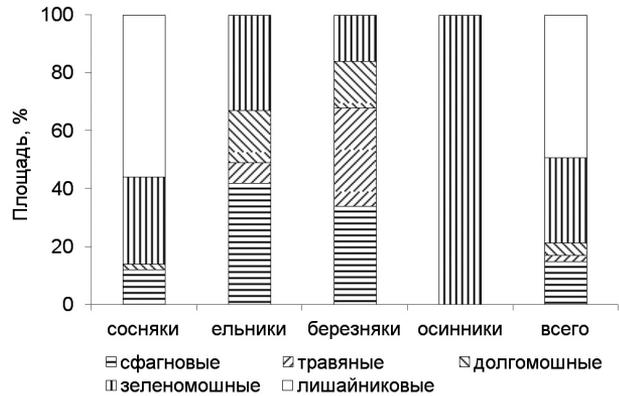


Рис. 2.19. Распределение лесопокрытой площади заказника «Белый» по группам типов леса.

Таблица 2.33
Распределение запасов органического углерода по преобладающим породам и компонентам в лесных экосистемах заказника «Белый», тыс. т

Формация	Компоненты				
	Древостой	Напочвенный покров	Детрит	Почва	Всего
Сосновая	250.2	16.3	22.4	291.5	580.4
Еловая	39.1	1.9	4.7	50.2	95.9
Березовая	10.3	0.2	0.3	21.4	32.2
Осиновая	0.2	0.01	0.01	0.4	0.62
Итого	299.8	18.4	27.4	363.5	709.1

Комплексный заказник «Белоборский». Белоборский государственный природный заказник республиканского значения был организован в 1967 г. Расположен на территории Трехозерского участкового лесничества Сыктывкарского лесничества на правом берегу р. Вычегда. Площадь заказника – 9 тыс. га. Охраняются природный комплекс, животный и растительный мир (Постановление..., 2008).

Заказник находится в подзоне средней тайги и по геоботаническому районированию входит в Сысольский сосновый округ Вычегодско-Мезенской подпровинции. Сложен округ юрскими, триасовыми и меловыми песчано-глинистыми отложениями, которые прикрыты мощным слоем флювиогляциальных песков, перемежающихся с моренными суглинками. Рельеф равнинный, полого-холмистый, местами крупнохолмистый, сильно расчлененный (Атлас..., 1964). Почвы разнообразны. На борových террасах преобладают иллювиально-железистые подзолы, а на междуречьях и склонах коренных берегов – типичные подзолистые, торфянисто-подзолисто-глеватые иллювиально-гумусовые (Атлас почв..., 2010).

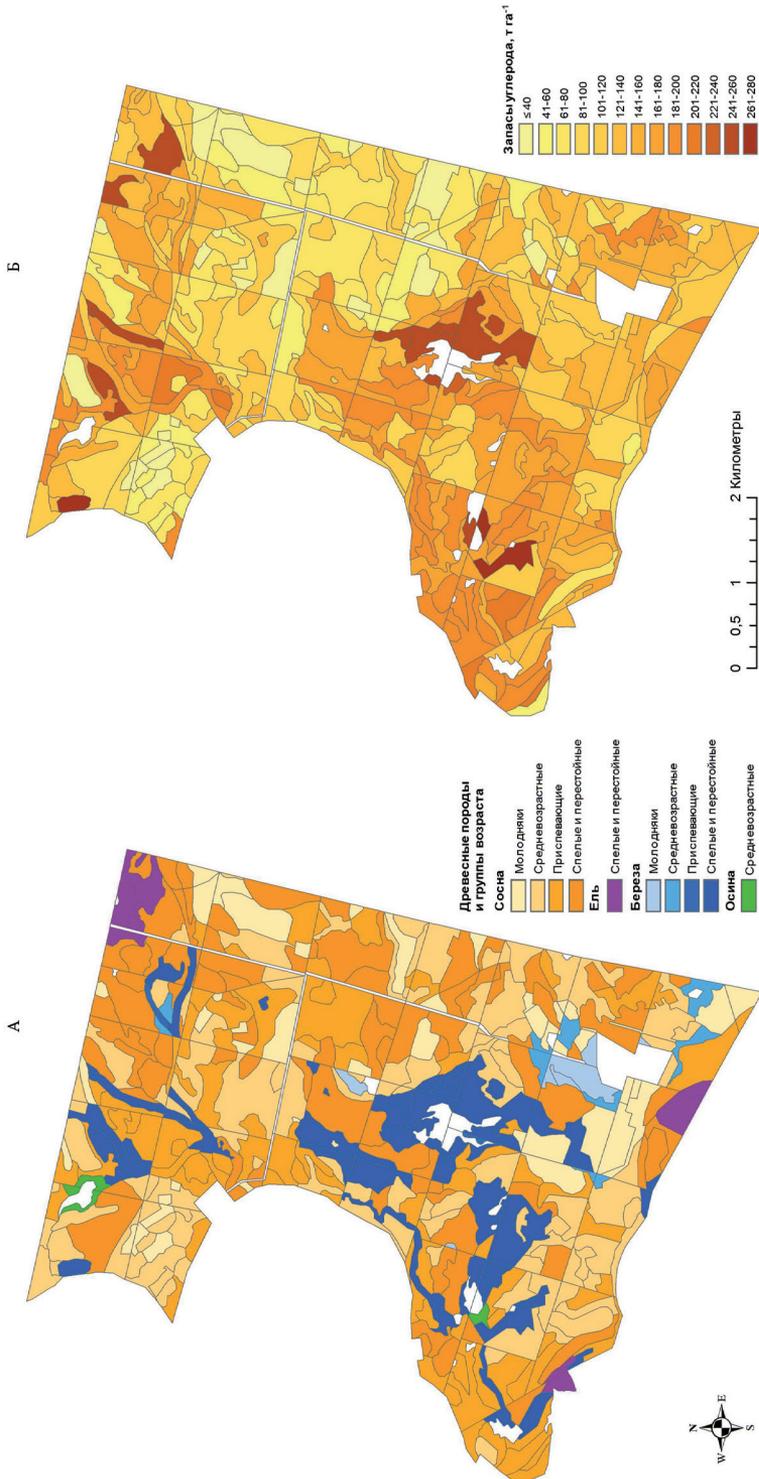


Рис. 2.20. План лесонасаждений (А) и запасы углерода органического вещества (Б) в лесных экосистемах заказника «Белоборский».

Таблица 2.34

Распределение лесопокрытой площади, запасов древесины по преобладающим породам и возрастным группам в заказнике «Белоборский»

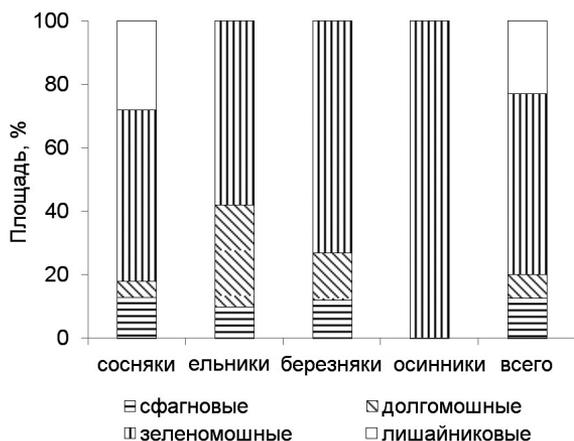
Формация	Всего	Группа возраста				
		Молодняки	Средне-возрастные	Приспевающие	Спелые	Перестойные
Сосновая	2792 4673.7	314 150.1	884 1257.6	711 1737.3	514 976.4	369 552.3
Еловая	76 139.1	0 0	0 0	0 0	18 28.6	58 110.5
Березовая	524 902.9	33 9.4	49 21.2	5 2.7	117 220.0	320 649.6
Осиновая	14 28.9	0 0	0 0	0 0	14 28.9	0 0
Итого	3406 5744.6	347 159.5	933 1278.8	716 1740	663 1253.9	747 1312.4

Примечание. В числителе – площадь, га; в знаменателе – запасы древесины, тыс. м³.

Лесистость территории заказника «Белоборский» – 37.8%. На лесопокрытых землях резервата (3406 га) доминирующее положение занимают сосняки (82.0%) (рис 2.20А). На долю хвойного хозяйства заказника приходится 84.2, мягколиственного – 15.8% покрытой лесом площади. На охраняемой территории запас стволовой древесины составляет 5744.6 тыс. м³, из них на долю хвойных пород приходится 83.7, лиственных – 16.3%. Значительную часть объема древесины занимает сосна (81.3%) (табл. 2.34).

Возрастная структура древостоев резервата неоднородна. Средний класс возраста – V.4. Продуктивность лесов невысокая. Господствуют насаждения невысоких классов бонитета. Полнота древостоев переменна (0.3-0.9), преобладают среднеполнотные сообщества. Средний запас стволовой древесины в насаждениях на заповедной территории составляет 168 м³ га⁻¹, при этом в спелых и перестойных древостоях он равен 187 м³ га⁻¹ (табл. 2.35).

Распределение насаждений по группам типов леса представлено на рис. 2.21. Самая распространенная группа, занятая всеми формациями, – зеленомошная, 56.9% от всей лесопокрытой площади. Лишайниковыми типами заняты только сосняки. Сфагновая группа типов леса составляет 12.7% и включает в себя сосняки, ельники и березняки. Долгомошную группу типов (7.5%)



формируют сосняки, ельники и березняки.

Общий запас углерода органического вещества в лесных экосистемах заказника составляет 452.3 тыс. т, из них в почве – 53.3, древостоях – 41.3, растениях напочвенного покро-

Рис. 2.21. Распределение лесопокрытой площади заказника «Белоборский» по группам типов леса.

Таблица 2.35

Таксационная характеристика древостоев заказника «Белоборский»

Формация	Доля формации, %	Средние показатели				
		Класс возраста	Класс бонитета	Относительная полнота	Запас древесины, м ³ га ⁻¹	
					Всего	Спелые и перестойные
Сосновая	82.0	IV.9	IV.5	0.6	167	179
Еловая	2.2	VII.9	V.0	0.5	184	199
Березовая	15.4	VII.5	IV.2	0.7	172	196
Осиновая	0.4	VII.0	III.7	0.8	212	212
Итого	100	V.4	IV.5	0.6	168	187

Таблица 2.36

Распределение запасов углерода органического вещества по преобладающим породам и компонентам в лесных экосистемах заказника «Белоборский», тыс. т

Формация	Компоненты				
	Древостой	Напочвенный покров	Детрит	Почва	Всего
Сосновая	147.1	8.1	14.4	172.5	342.1
Еловая	4.6	0.2	0.5	5.9	11.2
Березовая	34.3	0.5	0.5	61.5	96.8
Осиновая	0.9	0.02	0.1	1.2	2.2
Итого	186.9	8.8	15.5	241.1	452.3

ва – 1.9, фитодетрите, включая сухостой, валеж и сухие ветви, – 3.5% (табл. 2.36). Пул углерода в экосистемах заказника на единице площади приведен на рис. 2.20Б.

Комплексный заказник «Верхне-Локчимский» организован в 1993 г. с целью сохранения ненарушенных ландшафтов в верхней части бассейнов рек Локчим и Угдым (левых притоков р. Вычегды), являющихся эталонными для подзоны средней тайги. Рассматриваемый заказник расположен на территории Мординского участкового лесничества Локчимского лесничества, Усть-Локчимского участкового лесничества Корткеросского лесничества, а также Сторожевского и Керосского участковых лесничеств Сторожевского лесничества. Площадь заказника – 42 439 га (Постановление..., 2010).

Резерват относится к территории Вычегодско-Мезенской подпровинции Локчим-Пруптского елово-березового округа, который сложен пермскими и юрскими породами, прикрытыми мощным слоем четвертичных отложений. Рельеф равнинный, полого-холмистый (Юдин, 1954). На дренированных междуречьях преобладают типично подзолистые почвы, на слабо дренированных междуречьях – болотно-подзолистые (Атлас почв..., 2010).

Покрытая лесной растительностью территория комплексного заказника «Верхне-Локчимский» составляет 41 567 га, или 97.9% от его площади. Основными лесообразующими породами заказника являются ель и сосна, которые занимают соответственно 45.0 и 39.9%, на долю березы приходится 17.1, осины – 8.0% лесопокрытой площади (рис 2.22А). В возрастной структуре древостоев заказника преобладают перестойные насаждения (54.4%). Объем древесины лесопокрытой части заказника составляет 6348.1 тыс. м³, в том числе хвойные – 80.8% (табл. 2.37).

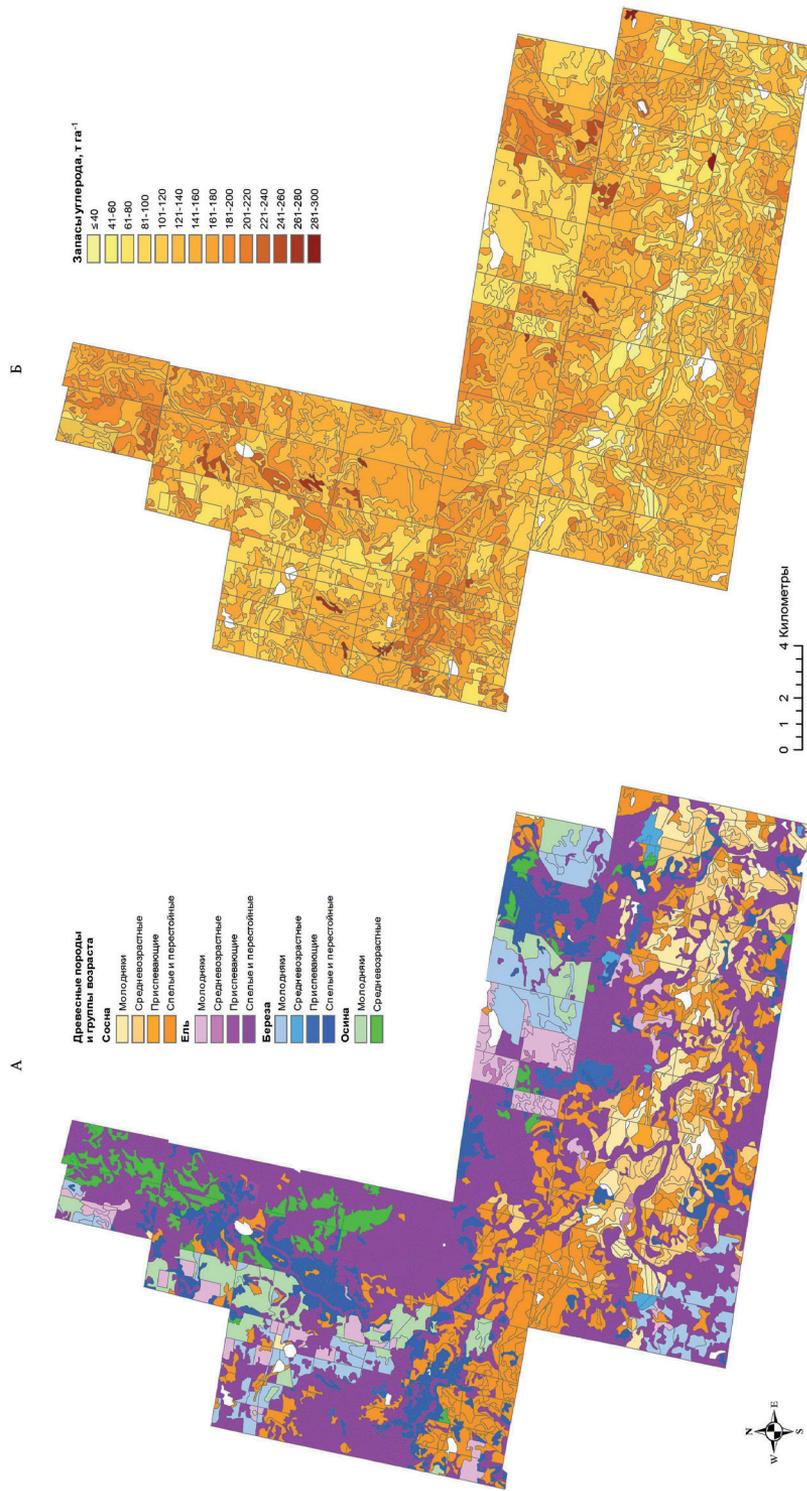


Рис. 2.22. План лесонасаждений (А) и запасы углерода органического вещества (Б) в лесных экосистемах заказника «Верхне-Локчимский».

Таблица 2.37

Распределение лесопокрытой площади, запасов древесины по преобладающим породам и возрастным группам в заказнике «Верхне-Локчимский»

Формация	Всего	Группа возраста				
		Молодняки	Средне-возрастные	Приспе-вающие	Спелые	Перестойные
Сосновая	12434	1922	3377	1013	2844	3278
	2034.9	122.9	474.2	249.1	648.2	540.5
Еловая	18695	1773	142	36	2194	14550
	3094.8	33.2	12.6	6.9	492.6	2549.5
Березовая	7127	2690	534	370	176	3357
	803.1	34.9	39.3	43.2	19.8	665.9
Осиновая	3311	1871	1	0	0	1439
	415.3	33.5	0.01	0	0	381.8
Итого	41567	8256	4054	1419	5214	22624
	6348.1	224.6	526.1	299.2	1160.6	4137.7

Примечание. В числителе – площадь, га; в знаменателе – запасы древесины, тыс. м³.

Древостои заказника «Верхне-Локчимский» имеют средний класс возраста, равный VI.5 (табл. 2.38). Они невысокой продуктивности, класс бонитета в среднем по резервату IV.6. Средняя относительная полнота для всех формаций составляет 0.7. Производительность древостоев – 157 м³ га⁻¹, в спелых и перестойных насаждениях – 175.

Преобладающей группой типов леса в заказнике является зеленомошная – 53.0% (рис. 2.23). Значительную часть (29.7%) занимает долгомошная группа типов. На долю сфагновой группы типов приходится 13.5%, лишайниковой – 2.5, травяной – 1.3% лесопокрытой территории.

Общий пул углерода органического вещества в лесных экосистемах заказника «Верхне-Локчимский» составляет 5963.1 тыс. т, из которых 59.0% прихо-

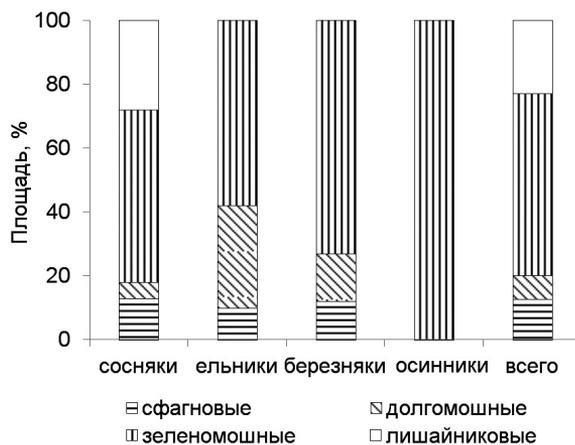


Рис. 2.23. Распределение лесопокрытой площади заказника «Верхне-Локчимский» по группам типов леса.

Таблица 2.38

Таксационная характеристика древостоев заказника «Верхне-Локчимский»

Формация	Доля формации, %	Средние показатели				
		Класс возраста	Класс бонитета	Относительная полнота	Запас древесины, м ³ га ⁻¹	
					Всего	Спелые и перестойные
Сосновая	29.9	V.2	IV.5	0.7	156	156
Еловая	45.0	VIII.0	V.0	0.6	164	168
Березовая	17.1	VI.1	IV.2	0.7	139	201
Осиновая	8.0	V.7	III.3	0.7	170	272
Итого	100	VI.5	IV.6	0.7	157	175

Таблица 2.39

Распределение запасов углерода органического вещества по преобладающим породам и компонентам в лесных экосистемах заказника «Верхне-Локчимский», тыс. т

Формация	Компоненты экосистем				
	Древостой	Напочвенный покров	Детрит	Почва	Всего
Сосновая	630.0	42.7	34.7	840.8	1548.2
Еловая	1094.2	43.0	134.8	1515.6	2787.6
Березовая	305.1	6.8	5.9	879.8	1197.6
Осиновая	132.9	3.7	12.0	281.1	429.7
Итого	2162.2	96.2	187.4	3517.3	5963.1

дится на почву, 37.9 – на фитомассу, 3.1% – на древесный дебрис (табл. 2.39). В среднем 1 га покрытой лесом территории заказника формирует 143.5 т органического углерода. Наибольшее его количество образуют березняки (250-275 тС га⁻¹) и ельники кисличные (176-265), наименьшее – сосняки лишайниковые (23-93 тС га⁻¹). Запасы углерода на единице площади лесных экосистем по выделам заказника приведены на рис. 2.22А.

Кедровый заказник «Сусьель-Локчимский» учрежден в 1964 г. с целью сохранения крупного островного местонахождения сосны сибирской (кедра). Относится к территории Усть-Локчимского участкового лесничества Корткеросского лесничества. Расположен резерват на водоразделе руч. Суска-ель (правый приток р. Пьянко) и р. Пьянко. Его площадь 2013 га (Постановление..., 1964). Территория заказника расположена в подзоне средней тайги и по геоботаническому районированию входит в Локчим-Пруптский елово-березовый округ Вычегодско-Мезенской подпровинции. Рельеф округа равнинный, полого-холмистый. Почвы типично подзолистые (Атлас..., 1964).

Лесопокрытая площадь заказника «Сусьель-Локчимский» составляет 1863 га, большая часть которой (89.7%) занята перестойными ельниками (рис. 2.24А). На березняки приходится 7.4% покрытой лесом площади. Остальную часть территории покрывают сосняки и осинники. Общй запас стволовой древесины лесных насаждений на территории заказника составляет 367.8 тыс. м³, из них на хвойные породы приходится 96.8%. Кедр в заказнике встречается как примесь в составе еловых насаждений, с общим запасом 4.8 тыс. м³ (табл. 2.40).

Таблица 2.40

Распределение лесопокрытой площади, запасов древесины по преобладающим породам и возрастным группам в заказнике «Сусьель-Локчимский»

Формация	Всего	Группа возраста				
		Молодняки	Средне-возрастные	Приспевающие	Спелые	Перестойные
Сосновая	4	0	0	0	0	4
	0.4	0	0	0	0	0.4
Еловая	1709	0	0	0	38	1671
	355.5	0	0	0	10.6	344.9
Березовая	137	3	118	0	0	16
	11.1	0.03	8.1	0	0	3.0
Осиновая	13	6	7	0	0	0
	0.8	0.1	0.7	0	0	0
Итого	1863	9	125	0	38	1691
	367.8	0.1	8.8	0	10.6	348.3

Примечание. В числителе – площадь, га; в знаменателе – запасы древесины, тыс. м³.

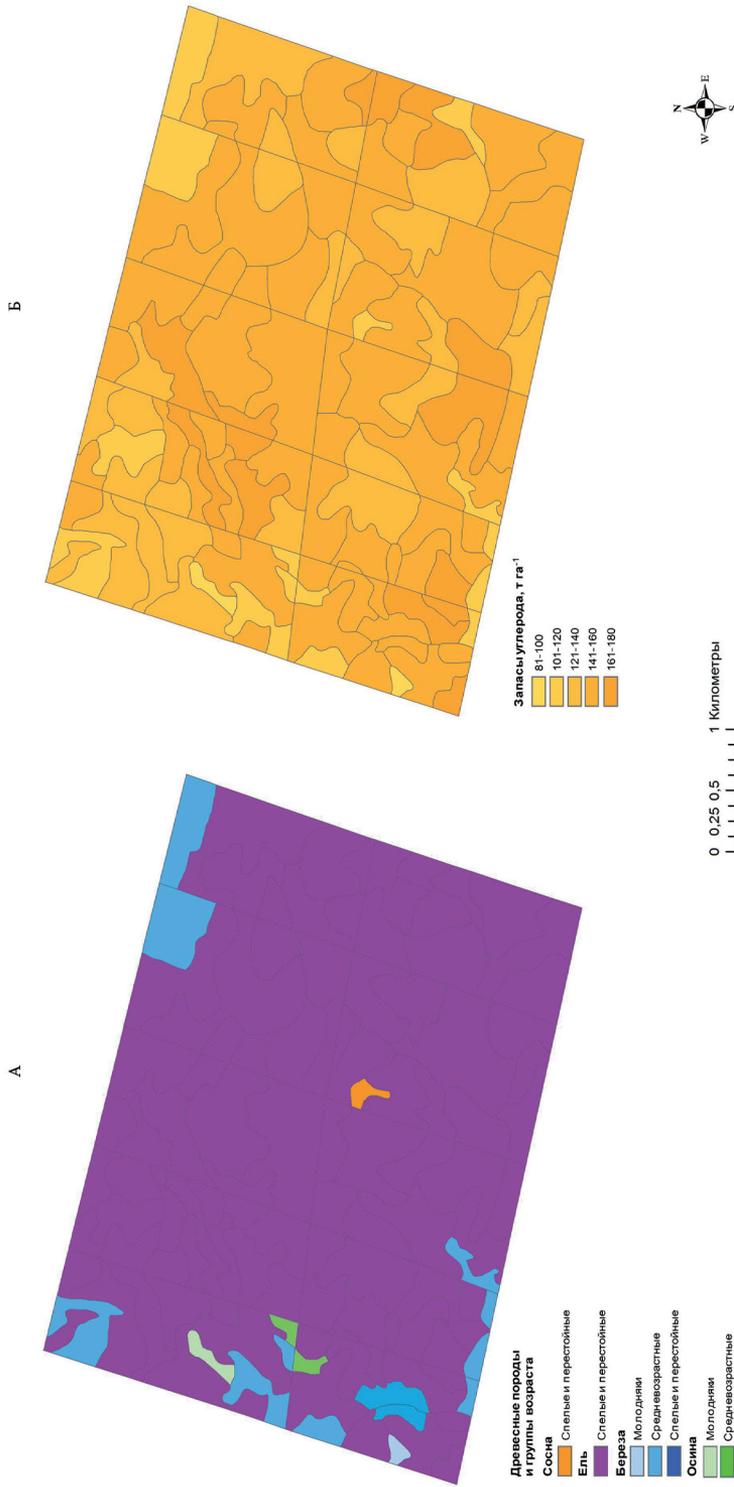


Рис. 2.24. План лесонасаждений (А) и запасы углерода органического вещества (Б) в лесных экосистемах «Сусель-Локчимский».

Таблица 2.41

Таксационная характеристика древостоев заказника «Сусьель-Локчимский»

Формация	Доля формации, %	Средние показатели				
		Класс возраста	Класс бонитета	Относительная полнота	Запас древесины, м ³ га ⁻¹	
					Всего	Спелые и перестойные
Сосновая	0.2	IX.0	Va.0	0.6	110	110
Еловая	91.7	VIII.9	IV.5	0.7	210	210
Березовая	7.4	IV.3	II.8	0.9	83	190
Осиновая	0.7	II.6	II.0	0.7	73	0
Итого	100	VIII.6	IV.4	0.7	191	209

В хвойных ценозах заказника преобладают перестойные древостои. Мелколиственные представлены молодняками и средневозрастными насаждениями послерубочного происхождения. Средний класс возраста древостоев по заказнику составляет VIII.6. Классы бонитета по формациям переменны. Так, средний класс бонитета для хвойных равен IV.6, для мелколиственных – II.7. Древостои среднеполнотные. Их производительность на охраняемой территории довольно велика. Средний запас стволовой древесины насаждений фитоценоза составляет 191.1, для спелых и перестойных древостоев – 208.8 м³ га⁻¹ (табл. 2.41).

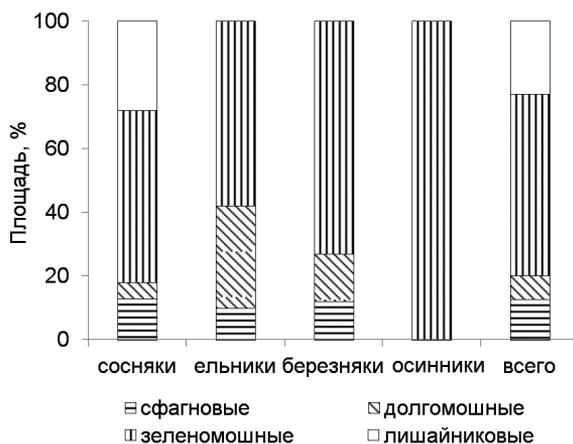


Рис. 2.25. Распределение лесопокрытой площади заказника «Сусьель-Локчимский» по группам типов леса.

Распределение насаждений по группам типов леса приведено на рис. 2.25. Долгомошная группа занимает 61.7%, зеленомошная – 36.6, сфагновая – 1.6% лесопокрытой площади.

Общий запас углерода органического вещества в лесных экосистемах заказника «Сусьель-Локчимский» составляет 277.8 тыс. т, из них 55.6 сосредоточено в почве, 38.4 – в древостое, 1.5 – в растениях напочвенного покрова, 4.5% – в детрите, включая сухостой, валеж и сухие ветви (табл. 2.42). Содержание углерода в экосистемах заказника на 1 га приведено на рис. 2.24Б.

Таблица 2.42

Распределение запасов углерода органического вещества по преобладающим породам и компонентам в лесных экосистемах заказника «Сусьель-Локчимский», тыс. т

Формация	Компоненты				
	Древостой	Напочвенный покров	Детрит	Почва	Всего
Сосновая	0.1	0.02	0.01	0.3	0.43
Еловая	103.1	4.0	12.4	140.1	259.6
Березовая	3.2	0.1	0.01	13.1	16.41
Осиновая	0.2	0.01	0.02	1.1	1.33
Итого	106.6	4.13	12.44	154.6	277.8

Таким образом, рассматриваемые нами лесные ООПТ Республики Коми общей площадью 2714.67 тыс. га охватывают 1741.7 тыс. га лесопокрытой территории. Лесные экосистемы ООПТ располагаются в северной (заказники «Сэбысь», «Гажаягский», «Удорский», «Белая Кедва») и средней (Якшинское и Верхнепечорское участковые лесничества Печоро-Илычского биосферного заповедника, заказники «Синдорский», «Ляльский», «Белый», «Белоборский», «Верхне-Локчимский», «Сусьель-Локчимский») подзонах тайги. Национальный парк «Югыд ва» включает три орографические зоны: горную, предгорную и низменную. На лесопокрытой площади данных ООПТ располагаются еловые, сосновые, лиственничные, кедровые, пихтовые формации хвойных и березовые, осиновые формации лиственных лесных сообществ – типичных для Севера таежной зоны. В целом, охарактеризованные в данной работе лесные насаждения ООПТ отражают основные закономерности фитоценотической и структурной организации растительных экосистем лесного фонда республики. Как было показано ранее, на ее территории доминирующими являются еловые, сосновые, березовые леса (Лесное хозяйство..., 2000). Пихтовые, кедровые, лиственничные и осиновые менее представлены.

На рассматриваемых в работе охраняемых территориях доминируют старовозрастные древостои. Более высоким возрастом характеризуются ельники и лиственничники, которые представлены преимущественно перестойными насаждениями (более 30%). Старовозрастные древостои характерны и для березняков ООПТ. Сосновые формации представлены древостоями разных возрастных групп. На значительных площадях встречаются молодняки и средневозрастные сосняки, которые приурочены к регионам интенсивного промышленного освоения лесов.

Типологическая структура лесных насаждений рассматриваемых ООПТ неоднородна. Ельники представлены насаждениями зеленомошной (33.9%), долгомошной (40), сфагновой (15.2), травяной (10.9%) группами типов. Сосняки зеленомошной и сфагновой групп составляют 39.7 и 31.0% соответственно. Долгомошная, лишайниковая и травянистая группы типов в сосняках занимают соответственно 17.1, 12.2 и 0.2% от общей площади ельников. В березняках более половины площади (54%) занимают сообщества зеленомошной группы типов. На долю сфагновой и долгомошной приходится 11.5 и 23.3% соответственно. Травянистая и лишайниковая группы формируют 9.8 и 1.4% площади березовых насаждений.

Анализ материалов по продуктивности лесных фитоценозов показал, что на ООПТ республики преобладают низкопродуктивные древостои. Они представлены в основном среднеполнотными (0.5-0.6), IV-V классов бонитета древостоями. Высокий класс бонитета характерен только осинникам. Производительность насаждений как хвойных, так и лиственных формаций ООПТ увеличивается с продвижением от северной к средней тайге. Так, средние запасы древесины в древостоях лесных фитоценозов в северной тайге составляют от 83 до 125, средней – 110-278 м³ га⁻¹.

Запасы углерода органического вещества экосистем состоят из пула углерода фитомассы, крупных древесных остатков и гумуса почвы. Расчеты, проведенные нами на основании полученных ранее запасов органического вещества в лесных биогеоценозах различных типов с учетом зональности, позволили дать оценку пула углерода в экосистемах различных формаций.

В фитоценозах сосняков средней тайги в зависимости от условий местопроизрастаний заключается 21-68 тС га⁻¹, древесном дебрисе – 1-5, почве –

45-84. В сосняках северной тайги эти величины составляют 29-45, 1-3, 55-98 тС га⁻¹ соответственно. Еловые экосистемы северной тайги в фитомассе ценозов концентрируют 31-47, древесного дебриса – 1.6-2.5, почве – 110-123 тС га⁻¹. В ельниках средней тайги в органической массе фитоценозов сосредоточено 44-78, древесном дебрисе – 3.5-7.5, почве – 78-99 тС га⁻¹. В растущих органах растений березняков северной тайги запасено от 22-39 тС га⁻¹. В условиях средней тайги аккумуляция углерода фитомассы органического вещества в березняке составляет 24-66 тС га⁻¹, доля крупных древесных остатков – 0.5-7.6, почвы – 96-123 тС га⁻¹.

Общие запасы углерода в старовозрастных ельниках ООПТ РК составляют 133-205 т га⁻¹, из них в живых органах деревьев концентрируется 23-53%, в растениях напочвенного покрова – 1.2-11%, в древесном дебрисе – 0.9-9.3, в почве, включая лесную подстилку и минеральный слой мощностью 0-100 см – 38-69% (Верхоланцева, Бобкова, 1972; Мартынюк, Бобкова, Тужилкина, 1998; Бобкова, 2001, 2007; Бобкова, Тужилкина, 2006; Кузнецов, 2010). В средневозрастных и спелых сосняках аккумулируется 90-190 тС га⁻¹, из них 35-74% сосредоточено в почве (Бобкова 1987, 1993, 2006; Осипов, 2012). Производные листовенничные и листовенно-хвойные экосистемы запасают от 62 до 186 тС га⁻¹, из них около 64% сосредоточено в почве.

При продвижении на север запасы углерода органического вещества, накопленные в живой фитомассе экосистем, уменьшаются в 1.1-1.7 раза, тогда как в органическом веществе почв его содержание увеличивается на 20-40%. В почвах березовых экосистем средней тайги, по сравнению с северной, запасы углерода органического вещества верхнего метрового слоя возрастают почти в два раза. Ранее (Казимиров, Морозова, 1973; Казимиров и др., 1977; Бобкова, 1987; Лесные экосистемы..., 2002; Ведрова, 2011) показано, что продуктивность лесных экосистем и в зональном аспекте резко изменяется. Неблагоприятные гидротермические условия почв средней и, особенно, северной тайги обуславливают довольно низкие темпы разложения растительных остатков и способствуют его накоплению на поверхности почвы в виде лесной подстилки. Следовательно, большое влияние на пул углерода лесных экосистем ООПТ оказывают лесорастительные условия. На рассматриваемых охраняемых территориях северной тайги преобладают сообщества, развитые на болотно-подзолистых почвах (65-75%), тогда как в заказниках средней тайги они занимают от 20 до 71% от лесопокрытой площади.

Сопоставление данных, полученных нами по содержанию углерода в лесных экосистемах, с приведенными в литературе показало, что они вполне сопоставимы. Так, в зависимости от возраста и лесорастительных условий запасы углерода в фитомассе сосняков Сибири варьируют от 4 до 78 (Лесные экосистемы..., 2002; Kolari et al., 2004 и др.), в фитомассе ельников – от 48 до 160 (Уткин и др., 1997), березняков – от 9 до 95 тС га⁻¹ (Казимиров и др., 1978; Филиппов, 2005). Пул углерода верхнего метрового слоя почвы лесных биогеоценозов бореальной зоны изменяется в широких пределах от 66 до 292 тС га⁻¹ (Честных и др., 2004; DeLuca1, Boisvenue, 2012 и др.). Концентрация углерода в древесном дебрисе составляет 1-21 тС га⁻¹ (Krankina, Harmon, 1995; Ваганов и др., 2005; Замолодчиков, 2009 и др.). Изменения пула углерода органического вещества в экосистемах зависят от породного состава фитоценоза, продуктивности и возраста насаждения.

Для сравнения приведем некоторые материалы, характеризующие концентрацию углерода в лесных экосистемах таежной зоны. Так, запасы углеро-

да в зеленомошных сосняках Енисейской равнины составляют 132-200 т га⁻¹, из которых 46-66 приходится на фитомассу, 23-35 древесный дебрис, 10-18% почву (Трефилова и др., 2011). В среднетаежных сосняках черничных I-II классов бонитета в условиях Карелии сконцентрировано 125-178 тС га⁻¹, в том числе 64-89% в растущих органах растений (Синькевич и др., 2009). В этих же условиях экосистемы сосняков брусничных аккумулируют 95-137 тС га⁻¹ (65-73% в фитомассе), а сосняков брусничных северной тайги – 121-151 тС га⁻¹ (48-67% в фитомассе). Э.Ф. Ведрова (2011) отмечает, что в березняках южной тайги центральной Сибири в зависимости от возраста сосредоточено 215-374 тС га⁻¹, 35-41% которых заключено в фитомассе. Она также утверждает, что в лиственничниках северной тайги Сибири сконцентрировано 66-141 тС га⁻¹, из которых 42-47% сосредоточено в фитомассе. Масса КДО в этих типах сообществ сопоставима или даже превышает запасы углерода, сосредоточенного в фитомассе. Участие почвы в общем пуле углерода незначительно. Д.Г. Щепашенко с соавторами (2008) отмечает, что в фитомассе лиственничных насаждений Северо-Востока России в зависимости от возраста и лесорастительных условий накапливается от 6 до 59 тС га⁻¹, в почве – от 80 до 184 тС га⁻¹. Запасы детрита максимальны в молодняках (15-20 тС га⁻¹) и затем постепенно уменьшаются.

Таким образом, лесные биогеоценозы ООПТ Республики Коми имеют важную роль в углеродном пуле лесных экосистем. Запасы углерода органического вещества в лесных экосистемах, на территории рассматриваемых ООПТ северной (заказники «Сэбысь», «Гажаягский», «Удорский», «Белая Кедва») и средней (Якшинское и Верхнепечорское участковые лесничества Печоро-Илычского биосферного заповедника, заказников «Синдорский», «Ляльский», «Белый», «Белоборский», «Верхне-Локчимский», «Сусьель-Локчимский», национальный парк «Югыд ва») тайги общей лесопокрытой площадью 1.74 млн. га составляет 242.86 млн. т, из них в фитомассе ценозов 33.8%, КДО – 2.5, почве – 63.7%.

Глава 2.3. Эмиссия углерода при пожарах на территории ООПТ

Лесные пожары занимают исключительно важное место в истории формирования лесных экосистем. Они, с одной стороны, приводят лесные насаждения к гибели, с другой – способствуют смене состава лесных сообществ. Отмечено, что вызываемые смены пород хвойных на лиственные способствовали улучшению питательного режима почв (Мелехов, 1948; Ткаченко, 1952).

В светлохвойных лесах умеренного пояса Евразии пожары являются одним из естественных экологических факторов лесовозобновления, динамики и эволюции популяций сосны и лиственницы (Верхунов, 1970; Бузыкин, 1975; Софронов, Вакуров, 1981; Санников, 1992; Цветков, 2002; Горшков и др., 2005). С.Н. Санников (1973, 1981, 1992) лесные пожары оценивает как естественно-циклические процессы в развитии сосняков. По мнению И.С. Мелехова (1948), М.Е. Ткаченко (1952), А.А. Корчагина (1954) и других исследователей, большая часть равнинных сосновых лесов таежной зоны возникла на месте темнохвойной тайги или сосново-еловых лесов под влиянием огня. Показано, что после интенсивных пожаров еловых и пихтовых лесов происходит восстановление лиственных (Восточноевропейские..., 2004; Дегтева, Дубровский, 2010). Доказано (Фуряев, Киреев, 1979; Санников, 1992; Фуряев,

1996; Цветков, 2002), что пожары остаются мощным эволюционным фактором, влияющим на формирование лесов прошлого и настоящего, а также на их распределение по территории России. Согласно С.В. Залесову (1998), по масштабам влияния на лес пожары вполне могут быть отнесены к экологическим факторам, влияющим на биосферу Земли. Несмотря на многие положительные стороны воздействия лесных пожаров на эволюцию лесных биогеоценозов, в то же время следует констатировать, что они остаются страшным бедствием.

Влияние лесных пожаров в России на эмиссию CO_2 в атмосферу за 1971-1991 гг. анализировали Р.К. Диксон и О.Н. Кранкина (Dixon, Krankina, 1993). За основу расчета ими были приняты: частота лесных пожаров и плотность распределения углерода по экорегионам России. В расчеты принимались также потоки углерода из лесного насаждения во время пожара и в послепожарный период. Согласно приведенным данным этих авторов, общая площадь лесных земель в России ежегодно подвергается пожарам от 1.4 до 10.0 млн. га лесных земель. Прямые ежегодные эмиссии от пожаров составили в среднем 0.05 ГтС, в то время как послепожарные эмиссии варьировали от 0.12 до 0.28 ГтС год⁻¹. В исследованиях В.В. Фуряева (1996, 1997), М.К. Арбатской и Е.А. Ваганова (1997) показано, что пожарные эмиссии CO_2 сопоставимы с послепожарными. Сценарии динамики растительного покрова России свидетельствуют о том, что дополнительные 6.7-12.6 млн. га лесных земель будут подвергнуты пожарам в следующие 50 лет. Согласно расчетам, приведенным А.С. Исаевым с соавторами (Экологические проблемы..., 1995), ежегодные эмиссии углерода от лесных пожаров в России оценивают от 24 до 66 Мт год⁻¹.

Следует отметить, что ожидаемое потепление климата приведет к резкому увеличению числа пожаров в бореальных лесах. Анализ динамики показал, что за год в Республике Коми происходило от 400 до 1520 лесных пожаров, наиболее часто – низовые пожары (90-98%). Площадь лесов, пройденная пожарами, в период с 1949 по 2000 г., составляла от 5 до 160 тыс. га в год. В период с 2007 по 2011 г. площадь лесных земель республики, охваченная пожарами, менялась от 400 до 51 тыс. га в год (Лесное хозяйство..., 2012). Верховые пожары возникают сравнительно редко, однако в среднем их площадь в десятки раз больше низовых. Основная причина возникновения пожара – человек (до 86% всех случаев). При этом более половины выгораний происходит по вине местного населения. На территории республики пожары – главный природный фактор гибели лесов (Лесное хозяйство..., 2000).

К настоящему времени лесовосстановление и сукцессионные процессы в лесных экосистемах Республики Коми рассмотрены в работах (Лазарев, 1961, 1965; Тюрин, 1982; Ларин, Паутов, 1989; Леса..., 1999; Лесное хозяйство..., 2000; Ильчуков, 2003). Отмечено, что к концу XX в. основной фонд вторичных лесов Республики Коми образован елово-березовыми и сосново-березовыми насаждениями, сформировавшимися на вырубках и гарях. Они сложились под антропогенным воздействием и отличаются мозаичностью, неравномерной полнотой, разнообразным составом и различной структурой ярусов. В лесотипологическом плане вторичные фитоценозы представляют собой различные этапы кратко- и длительновосстановительных сукцессий коренных типов леса. Следует отметить, что постпирогенные сукцессионные процессы в лесных экосистемах республики изучены слабо (Листов, 1986; Дегтева, Дубровский, 2010), а работы по оценке влияния пожаров на углеродный цикл в лесных сообществах республики практически отсутствуют.

Послепожарная сукцессия растительности

Анализ горимости лесов на ООПТ Республики Коми с 2000 по 2010 г. показал, что среди всех типов леса сосняки лишайниковые отличаются наибольшей горимостью; они исторически развиваются под влиянием пожаров. По И.С. Мелехову и С.И. Душа-Гудым (1981), сосняки лишайниковые являются исключительно легкозагорающимися. В связи с этим нами предпринята попытка подробнее рассмотреть динамику восстановления растительного покрова данного типа сообществ после пожаров.

Рассматривая обилие различных видов растений на гарях разного возраста, от одно- до 85-летней, необходимо учесть, что, несмотря на действие огня значительной интенсивности, напочвенный покров сгорает не полностью. Полевые опыты свидетельствуют, что в различных микроуглублениях нижняя живая часть лишайников нередко сохраняется. При беглом низовом пожаре со скоростью 2-4 м мин.⁻¹ и более на гарях могут сохраниться отдельные островки жизнеспособных кустистых лишайников. Низовые пожары часто не уничтожают корни кустарничков и травянистых растений (Залесов, 1998).

Так, по данным А.А. Листова (1986), на однолетних гарях сосняков лишайниковых сохранились единичные растущие деревья сосны, насчитывалось пять-восемь видов растений, включая растения, уцелевшие от пожара. Процесс зарастания лишайниковых гарей идет очень медленно. Несмотря на бедный видовой состав, появляющаяся растительность оказывается серьезным препятствием для эрозии песчаной почвы на этих гарях. Спустя один год на лишайниковой гари появляются побеги брусники (*Vaccinium vitis-idaea*), толокнянки обыкновенной (*Arctostaphylos uva-ursi*) и иногда других кустарничков. Среди травянистых растений замечаются дернинки луговика извилистого (*Avenella flexuosa*), вейника наземного (*Calamagrostis epigeios*), овсяницы овечьей (*Festuca ovina*). На обнаженные огнем участки активно заселяются ксерофитные мхи: *Ceratodon purpureus* и *Polytrichum juniperinum* вегетативно и из спор заселяют около 20% той площади, которая в большей мере могла быть подвержена ветровой эрозии. Лишайники на однолетних гарях почти отсутствуют, если не считать многочисленные мелкие обломки их слоевищ, разносимые ветром.

На трехлетней гари разрастаются ранее поселившиеся растения и появляются новые. Увеличивается число побегов брусники, особенно на участках среди сухостоя, где проективное покрытие составляет около 20%. На некоторых микроучастках отмечаются иван-чай узколистный (*Chamaenerion angustifolium*), луговик извилистый, вейник наземный; появляются отдельные особи толокнянки обыкновенной, вороники черной (*Empetrum nigrum*), плауна сплюснутого (*Diphasiastrum complanatum*) и др. Четко выделяется противозероэрозийная роль *Ceratodon purpureus* и *Polytrichum juniperinum*, а также *Pohlia nutans*, общее проективное покрытие которых достигает более 40%. Начинают разрастаться бокальчатые, трубчатые лишайники.

На семилетней гари появляются всходы сосны и березы, возрастает участие брусники, вороники черной, толокнянки обыкновенной, иван-чая узколистного. Появляются овсяница овечья, золотарник обыкновенный (*Solidago virgaurea*). Встреченные на одно-трехлетних гарях ксерофитные мхи увеличивают проективное покрытие до 60%. Несколько разрастаются бокальчатотрубчатые лишайники и появляются кустистые р. *Cladina*.

На 10-летней гари формируется несомкнутый кронами сосняк с березой составом 7СЗБ. Проективное покрытие брусники и толокнянки составляло

около 30%. На этой гари четко определилась приуроченность кустиков вереска обыкновенного *Calluna vulgaris* и вороники черной к валежу. Отмечены золотарник обыкновенный, плаун сплюснутый, кошачья лапка (*Antennaria dioica*). Значительно разрастается политрихум, высота его дернинок около 2.5 см. Наиболее заметно обилие бокальчатых, трубчатых лишайников; редко рассеяны отдельные экземпляры кустистых лишайников. Общее проективное покрытие всех лишайников составляет около 30%.

На 20-летней гари отмечен несомкнутый молодняк составом 7СЗБ, который отличается существенным разрастанием вереска в виде куртин диаметром 0.5-1.5 м. Вороника на этой гари встречается рассеянно, преимущественно около валежа, образованного пожаром; толокнянка – мелкими куртинками; редко встречаются особи луговика извилистого; брусника здесь несколько менее обильна, чем на 10-летней гари. Около древесной гнили обнаружены кустики черники (*Vaccinium myrtillus*). Существенной особенностью 20-летней гари, в сравнении с 10-летней, является значительно меньшее разрастание ксерофитных мхов; рассеянно встречается политрихум и очень редко – *Ceratodon purpureus*, а *Pohlia nutans* не отмечена. Вместе с тем, заметно большое разрастание кустистых кладин, высота которых составляет около 3 см. Обнаружены единичные особи *Cladonia stellaris*. На данной 20-летней гари встречено необычайное явление: большое число (10-20 очагов на 1 га) подземных скоплений муравьев. Почва в этих скоплениях пронизана их ходами и на поверхности имеется много «выбросов».

На 47-летней гари сформирован сосняк составом 10Сед.Б. Отмечается разрастание различных видов кустистых кладин и возрастанием участка *Cladonia stellaris*. Обилие брусники почти такое же, как на предыдущей гари, но участие в ярусе водяники и вереска оказалось меньшим. Здесь редко встречаются мхи *Pleurozium schreberi* и *Dicranum polysetum*, а *Ceratodon purpureus* и *Pohlia nutans* не обнаружены. Проективное покрытие лишайников достигает 95%, а мхов – около 5%.

На 85-летней гари сосняк составом 10Сед.Б отличается обилием кустистых лишайников, особенно *Cladonia stellaris*. Из мохово-лишайникового яруса на этой гари уже выпали некоторые бокальчато-трубчатые лишайники и ксерофитные мхи. Проективное покрытие лишайников колеблется от 98 до 100%. Кустарнички лучше развиваются на прогалинах и около валежа.

Приведенные описания свидетельствуют о наличии закономерностей в процессе зарастания гарей представителями древесного, кустарничково-травянистого и мохово-лишайникового ярусов: после пожара в лишайниковых борах нижние ярусы вначале представлены синузиями мхов-пионеров, затем синузиями послепожарных трубчатых лишайников-пионеров. К 20-30 годам формируется сомкнутый древостой и синузии из кустистых лишайников, которые, в свою очередь, к 40-50 годам уступают господству одного вида – *Cladonia stellaris*.

Таким образом, согласно данным А.А. Листова (1986), заключительной стадией восстановления лишайникового покрова следует считать полное преобладание в нем вида кладонии звездчатой *Cladonia stellaris*. Показано, что на протяжении 80 лет после низового пожара состав напочвенного покрова и кустарничково-травянистого яруса существенно изменяется. Брусника, как доминантный вид в кустарничковом ярусе, в первые 10-15 лет разрастается наиболее обильно, так как пожары не уничтожают ее корневую систему, и она в этот период успешно размножается вегетативным путем. А.А. Корча-

гин (1954) объясняет это обогащением почвы золой, обновлением вегетативных побегов и большей нагреваемостью почвы, темной после пожара. Обилие брусники в лишайниковых борах через 15 лет после пожара, как правило, снижается. В пределах своего ареала вереск размножается на 3-5-летних гаях преимущественно семенным путем; вересковые синузии сохраняются десятилетиями. Толокнянка обильнее разрастается лишь на 10-летних гаях, обычно позднее вереска; ее длинные ветви, лежащие на почве, образуют широкие куртины. Вороника в рассматриваемом А.А. Листовым возрастном ряду гаярей не имеет обильного развития, однако в этом же районе есть участки лишайниковых боров, пройденные 15-25 лет назад низовым пожаром, на которых она является доминантом среди кустарничков. Считается, что ее корневая система повреждается пожарами, и она размножается семенами. Таким образом, возраст гаярей в значительной мере определяет обилие кустарничков, мхов, лишайников и, следовательно, должен особо учитываться при типологических и биогеоценологических исследованиях.

Послепожарная сукцессия растительности в сосняках северной тайги рассмотрена нами с 1966 по 2009 г. в двух типах сосняков.

Сосняк бруснично-лишайниковый (1966 г.) – 30-летний молодняк, возникший на вырубке сосняка лишайникового и низового пожара по свежей вырубке 32-летней давности. Плотность – 36.6 тыс. экз. га⁻¹, имеет состав 7СЗБед,Е,Лц. Интенсивно протекает процесс дифференциации деревьев по состоянию. Сосна здоровая, перспективная составляет 14%, а береза – 3% от общего количества древесных растений. Остальные деревья угнетенные, усыхающие. В подлеске встречаются единичные кусты можжевельника, ивы, шиповника. Травяно-кустарничковый ярус беден, представлен голубикой (*V. uliginosum*), брусникой, черникой, водяникой с проективным покрытием 20-25%. В мохово-лишайниковом покрове доминируют кустистые лишайники. Из мхов встречаются ксерофитные виды *Polytrichum juniperinum*, *P. piliferum* и в незначительном количестве – *Pleurozium schreberi*.

На гари сосняка лишайникового к 65-летнему возрасту сформировался сосняк бруснично-зеленомошный. Состав древостоя 10С+Б, находится в жердняковой стадии развития. Подрост состоит из преимущественно здоровой сосны. В подлеске встречаются кусты можжевельника, ивы. Напочвенный покров сплошной. Травяно-кустарничковый ярус имеет проективное покрытие 40%, представлен брусникой, черникой, голубикой и щучкой дернистой (*Deschampsia cespitosa*), присутствуют вороника черная и плаун сплюснутый. Много осоки. Мохово-лишайниковый ярус с проективным покрытием 90% состоит из зеленых мхов *Pleurozium schreberi* и *Hylacomium splendens*, с присутствием *Ptilium crista-castrensis*. Лишайники расположены пятнами: *Cladonia rangiferina*, *C. arbuscula*, *Peltigera aphantosa*.

Березово-сосновый голубично-черничный (1966 г.) молодняк возник на вырубке, пройденной низовым пожаром 32-летней давности. Генетический или исходный тип леса до пожара – сосняк черничный. Молодняк густой, плотностью 93 тыс. экз. га⁻¹, имеет состав 8Б2С+Лц,Е, возраст 28 лет. Основной полог образует береза, встречаются сосна и лиственница. Сильно выражен процесс дифференциации древесных пород по состоянию и высоте. Здоровые деревья сосны и лиственницы составляют 30%, ели и березы – соответственно 70 и 10%. Остальная часть деревьев представлена угнетенными, отстающими в росте и отмирающими деревьями. Очень много березы, которая впоследствии обречена на усыхание. Перспективный состав молодняка 5БЗС1Лц1Е.

В подлеске встречаются ива, можжевельник. Травяно-кустарничковый ярус с проективным покрытием около 30% состоит в основном из голубики, черники, брусники. Единично встречаются вороника, осока, иван-чай узколистный, седмичник европейский (*Trientalis europaea*). В мохово-лишайниковом покрове – *Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens*, *Dicranum polisetum*, *Polytrichum commune*, *Cladonia arbuscula*.

Через 57 лет после пожара (1991 г.) изменился состав древостоя 5БЗС2Е-едЛц. Через 67 лет после пожара (2001 г.) сформировался сосняк черничный свежий. Состав древостоя 8С2Бед.Лц, находится в жердняковой стадии развития. Подрост состоит из преимущественно здоровой ели и березы, много усыхающей сосны. В подлеске встречаются кусты можжевельника, ивы. Напочвенный покров сплошной. Травяно-кустарничковый ярус с проективным покрытием 60% представлен повсеместно черникой, обильно голубикой и щучкой дернистой, присутствуют брусника, вороника, много осоки. Мохово-лишайниковый ярус с проективным покрытием 80-90%, состоит из зеленых мхов *Pleurozium schreberi* и *Hylocomium splendens* с присутствием *Polytrichum commune* и *Dicranum polysetum*. На микроповышениях и старом валеже встречаются кустистые лишайники *Cladonia stellaris*, *C. rangiferina*, *C. arbuscula*, *C. deformis*.

Через 75 лет после пожара (2009 г.) сосняк черничный свежий. Состав древостоя 9С1Б+Е. В подлеске встречаются кусты можжевельника, ивы, редко рябина. Травяно-кустарничковый ярус с проективным покрытием 70% представлен повсеместно черникой, обильно голубикой, брусникой, багульником болотным (*Ledum palustre*), щучкой дернистой, присутствуют вороника, осока, подмаренник, плаун. Мохово-лишайниковый ярус с проективным покрытием 80-90% состоит из зеленых мхов *Pleurozium schreberi* и *Hylocomium splendens* с присутствием *Polytrichum commune* и *Dicranum polysetum*. На микроповышениях рельефа, старом валеже встречаются кустистые лишайники *Cladonia stellaris*, *C. rangiferina*, *C. arbuscula*, *C. deformis*.

Таким образом, в условиях северной тайги к 75-летнему возрасту на гари сосняка черничного восстанавливается сосняк черничный свежий.

В еловых сообществах зеленомошной группы типов, развитых на автоморфных почвах, ель часто выбивается огнем, уступая место сосне. В ельнике черничном в первые годы после пожара происходит бурное разрастание иван-чая, вейника лесного, ожики волосистой, появляются черника и брусника, начинается вегетативное отрастание рябины, березы, осины (Залесов и др., 2004). Так, по нашим исследованиям, проведенным в 2011 г. на территории заказника «Сэбысь» (северная тайга), молодняк II класса возраста (18 лет) возник после верхового пожара 20-летней давности (1991 г.) в ельнике черничном. Ельник до пожара имел состав 8Е1С2Б, V класс бонитета. На данный момент сформировался густой (плотностью 27.7 тыс. экз.га⁻¹) сомкнутый молодняк составом 9Б1Е+С. Происходит интенсивный рост как хвойных деревьев, так и березы. В подлеске встречаются редко можжевельник, шиповник. В напочвенном покрове происходит обильное развитие кустарничков: черники, голубики, брусники, костяники обыкновенной (*Rubus saxatilis*) и трав: иван-чая узколистного (*Chamaenerion angustifolium*), дерена шведского (*Chamaepericlymenum suecicum*), хвоща лугового (*Equisetum pratense*), подмаренника болотного (*Galium palustre*), грушанки круглолистной (*Pyrola rotundifolia*), золотарника, седмичника.

Эмиссия углерода при пожарах

Большое влияние на газовый состав атмосферы оказывают лесные пожары. Воздействие лесных пожаров на углеродный баланс атмосферы определяется двумя основными процессами: физико-химическим процессом «быстрого» выделения при горении органических материалов («пожарные» эмиссии) и биологическим процессом «медленного» высвобождения углерода в результате деструкции и гниения погибших от огня не сгоревших растений («послепожарные» эмиссии).

Оценка «пожарных» эмиссий углерода проводится по массе ежегодно сгорающих материалов и содержанию углерода в них. Ежегодно сгорающие органические материалы определяются по запасам лесных горючих материалов (ЛГМ) на единицу пройденной огнем территории и ежегодным площадям верховых, низовых и подземных пожаров. Площади пройденных пожаров на территории отдельных ООПТ отражаются в годичных отчетах лесничеств.

Лесные горючие материалы делятся на четыре группы (Курбатский, 1970; Мелехов, Душа-Гудым, 1981):

- а) хвоя, сухие и мелкие ветви в кронах деревьев – проводники горения при верховых лесных пожарах (воздушные ЛГМ);
- б) живой напочвенный покров и свежий опад – проводники горения при низовых лесных пожарах (наземные ЛГМ);
- в) лесная подстилка и органометные горизонты почвы – проводники горения при подземных (торфяных) пожарах (почвенные ЛГМ);
- г) сухостойные деревья, валежи, древесные остатки и заготовленная древесина (ЛГМ стационарного горения в подземной сфере).

Масса воздушных ЛГМ различна в зависимости от породного состава и возраста насаждений, их продуктивности, фенологического состояния фитоценозов (Курбатский, 1970; Залесов, 1998; Иванов, Иванова, 2010). ЛГМ определены нами на основе полученных ранее данных по запасам органической массы в различных типах леса Республики Коми (Бобкова, 1987, 2007; Биопродукционный процесс..., 2001; Коренные еловые леса..., 2006). Так, масса воздушных ЛГМ в 30-летних молодняках составляет 4-7 т га⁻¹, в спелых ельниках – 9-19, в спелых сосняках – 5-12 т га⁻¹. С учетом недожога сгорающих материалов при верховых пожарах воздушные ЛГМ составляют примерно 70% от общих запасов.

Масса наземных ЛГМ, образующихся из растений живого напочвенного покрова (кустарнички, травянистые растения, мхи, лишайники) и опада (хвоя, листья, мелкие ветви, кора), колеблется в зависимости от состава, возраста древостоя, а также типа леса. В рассматриваемых нами еловых сообществах она составляет от 4 до 10 т га⁻¹, в сосновых – от 3 до 9 т га⁻¹. С учетом недожога масса сгорающих при низовых лесных пожарах наземных ЛГМ характеризуется величиной 2-5 т га⁻¹.

Масса органометных горизонтов почвы (лесной подстилки), состоящих из отмерших частей растений с различной степенью разложения, изменяется в ельниках от 25 до 75 т га⁻¹, в сосняках – от 15 до 72 т га⁻¹ (Забоева, 1975; Бобкова, 1987). При верховых и низовых лесных пожарах глубина прогорания не превышает половины толщины слоя лесной подстилки, что по запасам соответствует в ельниках 13-37, в сосняках – 7-36 т га⁻¹.

ЛГМ, представленные мертвыми древесными остатками (сухостой, валеж, сухие ветви), образуют массу 20-36 т га⁻¹ в ельниках и 5-15 т га⁻¹ в сосняках (Бобкова, 1987; Биопродукционный процесс..., 2001; Коренные еловые леса...,

2006). Показано, что в процессе горения принимают участие чаще всего не более половины наличного запаса мертвых древесных остатков (Залесов, 1998).

При определении массы сгорающих при пожарах органических материалов учитывается следующее:

- при низовых пожарах в процессе горения участвуют наземные ЛГМ, часть лесной подстилки и мертвых древесных остатков, а также незначительная доля хвои и ветвей в молодняках;

- при верховых пожарах в процессе горения участвуют воздушные и наземные ЛГМ, а также часть лесной подстилки и мертвых древесных остатков.

Используя вышеприведенные запасы основных групп ЛГМ с учетом перечисленных допущений, масса сгоревших органических материалов в расчете на гектар пройденной огнем площади составляет при низовых пожарах в зависимости от возраста и типа условий произрастания от 7 до 26 т га⁻¹, при верховых – от 17 до 47.

Для оценки послепожарной эмиссии углерода необходимо определение массы послепожарного отпада. Масса отмерших растений на площадях, пройденных пожарами, определяется через фитомассу древостоев и долю пирогенного отпада деревьев от воздействия огня. Фитомасса старовозрастных древостоев ельников на территории Республики Коми в зависимости от типов леса изменяется от 110 до 191, сосняков – от 89 до 163 т га⁻¹ (Бобкова, 1987; Биопродукционный процесс..., 2001; Коренные еловые леса..., 2006). Известно (Охрана лесов и ответственность..., 1987), что от воздействия устойчивых низовых пожаров отмирает от 15 до 65% запаса сосны, от 25 до 80% – ели, от 5 до 60% – березы. Отмечено также, что осредненный по всем породам и регионам России отпад будет составлять 20-25% наличного запаса. Масса отмирающих от воздействия верховых пожаров древесных растений определяется также через надземную фитомассу и величину отмирания. Так, послепожарный отпад при верховом пожаре составляет 85-90% несгоревшей фитомассы (Охрана лесов и ответственность..., 1987). На основе имеющихся у авторов данных по фитомассе лесных насаждений с учетом доли отпада показано, что масса послепожарного отпада органического вещества при верховых пожарах в ельниках составляет 120-140, сосняках – 49-53 т га⁻¹, лиственно-хвойных молодняках – 20-33 т га⁻¹, при низовых соответственно 28-35, 12-23 и 14-17 т га⁻¹.

Удельную массу ЛГМ, т.е. массу горючих материалов на единицу пройденной огнем территории, при разных видах горения можно определить на основании имеющихся данных по фитомассе лесных сообществ с учетом типов леса.

Послепожарная эмиссия углерода оценивается через массу отмирающей от воздействия огня древесной растительности, содержание в ней углерода и скорости (продолжительности) деструкции древесины. Масса годичного послепожарного отпада деревьев с единицы пройденной огнем территории определяется через интенсивность отпада деревьев с единицы пройденной огнем территорией и ежегодные площади низовых, верховых и подземных пожаров (Экологические проблемы..., 1995).

При определении массы отмирающих от воздействия пожаров лесных растений учитываются фитомасса насаждений, наиболее подверженных пожарам данного вида, и масса сгоревших ЛГМ, а также период их деструкции, указанный в имеющейся литературе и справочных материалах (Мелехов, 1976; Harman et al., 1986 и др.; Охрана лесов и ответственность..., 1987; Экологи-

ческие проблемы..., 1995). При этом необходимо учитывать продолжительность послепожарного лесовосстановления. Этот период следует ограничивать состоянием, когда количество депонируемого молодняками углерода компенсирует его эмиссию от деструкции отмершей древесной растительности. Согласно авторам (Мелехов, 1948; Тюрин, 1978, 1982; Ларин, Паутов, 1989; Санников, 1992; Цветков, 2002; Ильчуков, 2003), в северных районах формирование молодняков на гарях заканчивается к 30-40 годам, значит, с этого возраста можно считать, что фитоценозы из источника становятся стоком.

Выполнены полевые экспериментальные работы по оценке влияния пожара на углеродный бюджет экосистемы. Оценка эмиссии углерода после прохождения низовых и верховых пожаров проведена в спелых насаждениях ельника черничного и долгомошного, сосняка черничного разного возраста и сосняка лишайникового (табл. 2.43). Величина пожарной эмиссии углерода (G) оценивается по массе сгорающих органических материалов и содержанию углерода в ней:

$$G = kM, \quad (2.3.1)$$

где k – коэффициент, равный доле углерода в составе лесного горючего материала (ЛГМ). По нашим расчетам (Бобкова, Тужилкина, 2001), $k = 0.47$; M – масса сгорающих органических материалов.

Определена послепожарная эмиссия углерода, которая происходит постепенно и зависит от процессов деструкции отпада и лесовосстановительных процессов гарей, сопровождающихся депонированием углерода (табл. 2.43). При этом скорость накопления углерода в возобновляющейся растительности постепенно нарастает и достигает максимума в средневозрастных насаждениях, а скорость деструкции отмершей древесины и эмиссии постепенно падает. Явное преобладание эмиссии углерода над его депонированием имеет место только до зарастания (облесения) гарей и перевода их в покрытые лесом площади.

Величина послепожарной эмиссии углерода (R) в древостое вычисляется по массе ежегодно отмирающей от воздействия огня древесной растительности, содержанию углерода в ней и скорости (продолжительности) деструкции древесины:

$$R = kt P/T, \quad (2.3.2)$$

Таблица 2.43

Пожарная эмиссия углерода (тС га⁻¹)

Тип леса	Пожарная эмиссия		Послепожарная эмиссия		Итого	
	Верховой	Низовой	Верховой	Низовой	Верховой	Низовой
Ельник долгомошный (спелый)	23.07	13.02	68.51	16.08	91.58	29.10
Ельник черничный (спелый)	20.21	11.28	64.15	14.45	84.36	25.73
Сосняк черничный (спелый)	16.26	8.6	43.76	11.48	60.02	20.08
Сосняк лишайниковый (спелый)	8.6	8.01	24.52	5.42	33.12	13.42
Сосняк бруснично-лишайниковый (молодняк II класса)	11.7	3.7	11.4	7.7	23.10	10.40
Лиственнично-сосновый (молодняк II класса)	13.21	5.50	16.10	8.14	29.3	13.64

где P – масса послепожарного отпада (т); T – продолжительность периода деструкции отмерших деревьев (лет), которая в среднетаежных лесах принимается равной для стволовых древесных остатков 40-50, для веточного отпада лесообразующих пород – 8-15 годам; k – коэффициент, равный доле углерода в составе лесного горючего материала (ЛГМ); t – продолжительность лесовосстановительного периода гарей (лет), которая для формирования устойчивых молодняков хвойных пород заканчивается к 30-40 годам.

Таким образом, суммарное количество углерода, поступающего в атмосферу после верхового лесного пожара, в ельнике черничном равно 84.36, после низового – 25.73 т га⁻¹, в ельнике долгомошном – 91.58 и 29.10, в сосняке черничном – 60.02 и 20.08, в сосняке лишайниковом – 33.12 и 13.42 тСга⁻¹ соответственно. В 30-летних молодняках общее количество эмиссии углерода составляет при низовых пожарах 11.40-13.64 т га⁻¹.

Однако параллельно с процессом деструкции происходит поглощение углерода формирующимися на гарях сначала травянистой растительностью, а затем и молодняками. Через одно-два десятилетия после формирования молодняков количество депонируемого углерода становится равным количеству углерода, высвобождающемуся в результате деструкции послепожарного отпада, а затем процесс накопления углерода в фитомассе лесной растительности становится доминирующим.

Нами установлено, что древесные растения в многолетних органах аккумулируют к 15, 30 и 45 годам соответственно 30, 60 и 78 т га⁻¹ углерода или ежегодно накапливают 1.00; 2.31 и 2.60 т га⁻¹ в год. К 30-летнему возрасту ежегодное депонирование углерода становится соизмеримо с ежегодной послепожарной эмиссией после верхового пожара. При низовом пожаре такое соотношение наступает через шесть-семь лет после пожара, когда фитocenозом ежегодно накапливается до 0.6 т га⁻¹ углерода.

Лесные пожары вызывают дополнительную эмиссию углекислого газа в атмосферу. Проанализирована горимость лесов 12 ООПТ, расположенных на территории Республики Коми, за 2001-2010 гг. (табл. 2.44). Сведения о пожарах в заказниках были представлены Комитетом лесов Республики Коми, администрацией Печоро-Илычского биосферного заповедника и администрацией национального парка «Югыд ва». Рассмотренные ООПТ занимают площадь 3252 тыс. км², что составляет около 60% от площади ООПТ республики.

На территории национального парка «Югыд ва» за последние 10 лет отмечено 19 низовых пожаров в 2002, 2004 и 2005 гг. Охваченная огнем площадь составила 262.7 га, или 0.01% общей площади парка. Наиболее крупный пожар произошел в 2005 г., когда выгорело 150 га соснового леса. Расчеты показали, что пожарная эмиссия углерода в атмосферу на территории национального парка за последние 10 лет равна 2561 т, эмиссия углерода после пожаров – 3351 т. Таким образом, общая эмиссия углерода от лесных пожаров на территории национального парка за 10 лет составит 5912 т.

На территории Печоро-Илычского заповедника за последние 10 лет было обнаружено 10 низовых пожаров в 2004, 2005, 2008 и 2010 гг. с площадью возгорания 229.2 га. Пирогенному воздействию подверглись сосняки черничных и лишайниковых типов, а также ельники черничные. Всего пожарами за рассматриваемый период охвачено 0.03% от площади заповедника с запасом сгоревшей древесины 19.2 тыс. м³. Пожарная эмиссия равна 2225 т углерода, послепожарная – 2894 т. В целом, с площади, пройденной пожарами, выделится в атмосферу 5120 т углерода.

Таблица 2.44

Эмиссия углерода после пожаров на охраняемых территориях РК за 2001-2010 гг.

ООПТ	Год пожара	Площадь пожара, га	Вид пожара	Преобладающая порода	Тип леса	Сгорело Дровесины, м³	Эмиссия углерода, т		
							пожарная	последпожарная	
Югид ва	2002	85,3	низовой	ель	черн.	—	962,3	1232,7	
	2004	6,8	низовой	ель	черн.	—	76,7	98,3	
	2005	150,0	низовой	сосна	черн.	—	1290,0	1722,0	
	2005	20,6	низовой	ель	черн.	—	232,4	297,7	
	Всего	262,7					2561,4	3350,7	
Печоро-Ильчский заповедник	2004	5,2	низовой	ель	черн.	286	58,7	133,8	
	2004	114,0	низовой	сосна	черн.	2527	980,4	1308,7	
	2005	6,51	низовой	ель	черн.	1143	73,4	94,1	
	2005	1,27	низовой	сосна	лиш.	125	10,2	6,7	
	2008	2,2	низовой	сосна	лиш.	—	17,6	11,5	
	2010	16,0	низовой	кедр	лиш.	2240	137,6	183,7	
	2010	84,0	низовой	ель	черн.	12840	947,5	321,3	
	Всего	229,2				19161	2225,4	2161,3	
	Белоборский	2001	0,32	низовой	сосна	черн.	—	2,8	3,7
		2002	0,9	низовой	сосна	лиш.	—	7,2	4,7
2005	0,8	низовой	сосна	сосна	черн.	—	6,9	9,2	
Всего	2,02					16,8	17,6	34,6	
Белый	2001	0,2	низовой	сосна	черн.	—	1,7	4,0	
	2005	0,34	низовой	сосна	черн.	—	2,9	3,9	
	2006	0,04	низовой	сосна	лиш.	—	0,3	0,2	
	2007	3,5	низовой	сосна	лиш.	—	28,0	18,3	
	2010	0,22	низовой	ель	черн. (дм.)	—	2,5	3,2	
	Всего	4,30					35,5	27,9	
	2010	23,8	низовой	ель	черн.	1420	268,5	343,9	
Верхне-Локчимский	2010	6,9	низовой	ель	черн.	427	77,8	99,7	
	2010	2,4	низовой	сосна	черн.	107	3,4	4,6	
	2010	0,4	низовой	сосна	лиш.	—	55,3	36,2	
	Всего	33,5				1954	405,0	890,5	
Гагаятский	2003	11,0	низовой	сосна	длгм.	70	94,6	126,3	
	2004	2,31	низовой	сосна	черн. + сф.	192,5	19,9	26,5	
	2004	13,3	низовой	сосна	длгм.	262,5	114,5	152,8	
	Всего	60				1315	781,2	964,8	
Сэбысь	2002	3	—	ель, сосна	лиш.	168	24,0	16,3	
	2003	1	—	сосна	лиш.	0	8,0	5,4	
	2005	64	—	сосна	лиш.	1483	813,2	986,5	
Всего	68				1651	815,2	1008,2		
Синдорский Удорский	2005	0,2	низовой	ель	сф.	30	1,7	2,3	
	2008	0,1	низовой	ель	длгм.	13	1,1	1,4	
	2010	15	низовой	сосна	лиш.	43	120,2	81,3	
	Всего	15,4				86	122,8	84,7	
Верхневашкинский	2002	3	—	ель	сфг.	288	33,8	43,4	
	2002	15	—	сосна	черн.	1080	129,0	172,2	
	2005	48	—	сосна	черн.	349	412,8	551,0	
	2005	2,5	—	сосна	лиш.	1368	200,3	131,0	
	2005	0,6	—	ель	черн.	28	6,2	7,9	
	2005	128	—	ель	длгм.	9360	1666,6	2058,2	
	2010	4	—	сосна	лиш.	5	0,8	0,5	
Всего	223,7				480	521	64,3		
Итого		848,3				12958	2501,5	3028,6	
						35861	8799,7	11031,4	

Примечание. Проверк – нет данных в первоисточнике.

На территории заказника «Белоборский» за последние 10 лет было выявлено четыре низовых пожара: два в 2001 г., по одному в 2002 и в 2005 гг. Они произошли в сосняках разных типов общей площадью 2 га, что занимает менее 1% от лесопокрытой площади заказника. Пожарная эмиссия углерода с этой площади равна 16.8 т. Послепожарное выделение углерода за последующие 40 лет составит еще 17.6 т.

На территории заказника «Белый» за последние 10 лет обнаружено пять мелких низовых пожаров общей площадью 4.3 га, что составляет 0.06% от площади заказника. После пожара 2001 г. площадью 0.2 га в сосняке брусничном общая эмиссия углерода составила 4 т. В 2005 г. произошел низовой пожар в сосняке черничном (0.34 га), в результате выделилось 6.8 т углерода. В 2006 г. пожар площадью 0.04 га в сосняке лишайниковом вызвал эмиссию 0.54 т углерода. После пожара 2007 г. в сосняке лишайниковом (3.5 га) выделилось 47 т углерода. В 2010 г. пожар площадью 0.22 га в ельнике долгомошном вызвал эмиссию углерода 2.5 т, и в последующие 40 лет выделится еще 3.2 т углерода. В целом с площади лесных насаждений 4.3 га после пожаров выделится 64 т углерода.

На территории заказника «Верхне-Локчимский» пожары зафиксированы в 2001 и 2010 гг. За 10 лет пожарами здесь охвачено 0.08% от общей площади заказника, при этом потеря древесины равна 1954 м³. В 2001 г. был низовой пожар площадью 23.8 га в ельнике черничном. Эмиссия углерода на данной территории составила 612.4 т. В 2010 г. зарегистрировано три низовых пожара: в ельнике черничном площадью 6.9 га, в сосняке брусничном площадью 2.4 га и в сосняке лишайниковом площадью 0.4 га. Пожарная эмиссия за 2010 г. составила 136.5 т углерода. Послепожарная эмиссия составит за последующие 40 лет еще 140.5 т углерода и в сумме составит 278.2 т углерода с площади 9.7 га. В целом за 50 лет с площади пожарищ 33.5 га выделится 890 т углерода.

На территории заказника «Гажаягский» за последние 10 лет обнаружено два низовых пожара в 2003 и 2004 гг. в сосняках черничных, долгомошных и сфагновых на общей площади 13.3 га, что составляет 0.07% территории заказника. Пожарная эмиссия углерода с этой площади равна 114 т. Послепожарная эмиссия за последующие 40 лет составит 153 т углерода. Всего выделится 267 т углерода.

На территории заказника «Сэбысь» за последние 10 лет выявлены три низовых пожара средней интенсивности, при которых сгорело 1483 м³ древесины. В 2002 г. в ельнике и сосняке долгомошных на общей площади 60 га, в 2003 и 2005 гг. – в сосняках лишайниковых площадью 4 га. Всего пожарами охвачено 0.04% от площади заказника. Пожарная эмиссия углерода с этой площади равна 813 т, а послепожарная за последующие 40 лет составит 986 т. В целом с общей площади пожаров 64 га в атмосферу поступит 1800 т углерода.

На территории заказника «Синдорский» обнаружен один низовой пожар слабой интенсивности в сосняке сфагновом на площади 0.2 га в 2010 г. Общая эмиссия углерода составит 4 т, в том числе пожарная 1.7 т, послепожарная – 2.3 т.

На территории заказника «Удорский» за последние 10 лет были выявлены три низовых пожара: в 2005 и 2008 гг. в ельниках долгомошных на общей площади 0.4 га и в 2010 г. – в сосняке лишайниковом площадью 15 га. В целом с общей площади 15.4 га эмиссия углерода составит 212 т, из них пожарная – 125 т, послепожарная – 87 т.

На территории заказника «Верхне-Вашкинский» за последние 10 лет пройдено пожарами 223.7 га, при этом потеря древесины составила 34 183 м³. В 2002 г. площадь пожаров составила 18 га, общая эмиссия углерода – 378 т. В 2005 г. пожарами было охвачено 210 га в разных типах леса, эмиссия углерода в сумме составила 5038 т. В 2010 г. обнаружен один пожар на площади 4 га в ельнике долгомошном, в результате эмиссия углерода равна 116 т. За 10 лет пожарная эмиссия углерода равна 2501 т, послепожарная – 3028.6 т. В целом эмиссия углерода составит 5534.4 т.

На территории заказников «Ляльский» и «Белая Кедва» пожары с 2001 по 2010 г. не зафиксированы.

Таким образом, на 10 из 12 рассматриваемых особо охраняемых природных территорий Республики Коми (национального парка «Югыд ва», Печоро-Илычского биосферного заповедника и комплексных заказников «Белый», «Белоборский», «Верхне-Локчимский», «Сэбысь», «Удорский», «Верхне-Вашкинский», «Белая Кедва», «Гажаягский», «Синдорский», лесных заказников «Ляльский», «Сусьель-Локчимский», болотных заказников «Синдорское», «Пычимский») за 2001-2010 гг. зафиксировано 78 пожаров на общей площади 848.3 га. Наибольшее количество случаев пожаров (35) отмечено в 2005 г. Значительные площади пройдены пожарами в национальном парке «Югыд-Ва», Печоро-Илычском биосферном заповеднике и заказнике «Верхне-Вашкинский», на остальных охраняемых территориях площади пожаров незначительны. Все пожары классифицированы как низовые разной интенсивности. За рассматриваемый период сгорело 35.9 тыс. т древесины. Пожарная эмиссия углерода в атмосферу составила 8.8 тыс. т, послепожарная – 11.0 тыс. т. Общая эмиссия углерода от лесных пожаров за 10 лет на территории рассматриваемых ООПТ составила 19.8 тыс. т. Ежегодно на территории рассматриваемых ООПТ Республики Коми отмечается в среднем четыре лесных пожара, площадь возгорания равна 84 га год⁻¹. При этом за один год выделяется в атмосферу в среднем 1.98 тыс. т углерода.

Следует также отметить, что снижение пожарных эмиссий может достигаться без временного лага между вложением средств и получением результатов, как то имеет место при облесении новых территорий. Серьезной проблемой является при этом предотвращение выбросов углерода за счет усиления охраны лесов от пожаров.

2.4. Эмиссия диоксида углерода в лесных экосистемах хвойных лесов средней тайги

2.4.1. Выделение CO₂ с поверхности почвы в сосняке чернично-сфагновом

Интенсивность потока CO₂ с поверхности почвы является одним из важных показателей углеродного цикла наземных экосистем (Кайбияйнен и др., 1999; Мамаев, Молчанов, 2004; Пулы и потоки..., 2007). Количество CO₂, выделяемое почвами, определяется различными факторами, как биологическими – стадией развития и темпом жизнедеятельности почвенной флоры и фауны, дыханием корней, так и климатическими – температурой, влажностью воздуха и почвы, количеством поступающих осадков, ветром и др. (Кобак, 1988; Макаров, 1988). По количеству углекислоты, выделяемой с поверхности почвы, можно судить об интенсивности процессов разложения органического вещества (Ведрова, 1997), характеризовать биологическую активность

почв (Смирнов, 1955; Мина, 1957) или продуктивность фитоценоза (Карпачевский, 1981). К настоящему времени накоплено достаточно много сведений, оценивающих потоки углекислоты как на уровне фитоценоза (Ялынская, 1999; Мамаев, Молчанов, 2004), страны в целом (Кудеяров, 1995; Курганова, Кудеяров, 1998; Пулы и потоки..., 2007; Курганова, 2010), так и мира (Schlesinger, Andrews, 2000; Ito et al., 2003). Выделение CO_2 из почвы изменяется в широких пределах. Согласно В.Н. Кудеярову с соавт. (1995), средняя удельная скорость продуцирования углекислого газа почвами России в течение вегетационного периода варьирует в пределах $0.3-6.1 \text{ тС га}^{-1}$. Болотно-подзолистые почвы выделяют в среднем $1.7-2.2 \text{ тС CO}_2 \text{ га}^{-1} \text{ год}^{-1}$ (Кудеяров, Курганова, 2005). Л.К. Кайбияйнен с соавторами (1999) отмечает, что из почвы средневозрастного сосняка черничного средней тайги Карелии выделяется 2.7 тС га^{-1} . Согласно исследованиям В.В. Мамаева и А.Г. Молчанова (2004), эмиссия C-CO_2 из серой лесной почвы дубравы южной лесостепи составляет $5.6-6.7 \text{ тС га}^{-1}$. Типичная подзолистая почва ельника черничного средней тайги Республики Коми в течение вегетации выделяет в атмосферу $2.3-2.7 \text{ тС га}^{-1}$ (Машика, 2006), а болотно-подзолистая почва ельника чернично-сфагнового в этих же условиях – $2.7 \text{ тС га}^{-1} \text{ год}^{-1}$ (Кузнецов, 2010). Эмиссия C-CO_2 из дерновой слабоподзолистой почвы соснового биогеоценоза равна 4.4 тС га^{-1} (Молчанов, 2007). Согласно И.Н. Кургановой (2010), из дерново-подзолистой и серой лесной почв, сформировавшихся под лесной растительностью с углекислым газом в атмосферу выделяется в среднем около $6.0 \text{ тС га}^{-1} \text{ год}^{-1}$. Проведенные исследования характеризуют в основном автоморфные почвы. Менее исследованными в этом отношении являются болотно-подзолистые почвы, развитые под сосновыми лесами, в то время как для более достоверной оценки эмиссии диоксида углерода с поверхности почв бореальных лесов необходимы экспериментальные данные, характеризующие почвенное дыхание разных типов лесных почв. Цель данной работы – оценка сезонной эмиссии углекислого газа с поверхности болотно-подзолистой почвы среднетаежного сосняка чернично-сфагнового в зависимости от экологических факторов.

Исследования проводились в течение вегетационных периодов 2008, 2009, 2010 гг. в спелом сосняке чернично-сфагновом на территории лесного заказника «Ляльский» ($62^{\circ}15' \text{ с.ш.}$, $50^{\circ}42' \text{ в.д.}$). Климат территории умеренно-континентальный. Среднегодовая температура воздуха – 0.1°C , количество осадков – 693 мм, 60% которых выпадает в виде дождей. Продолжительность снежного периода составляет в среднем 6 мес. (с 1 ноября по 5 мая), вегетационного периода – 142 дня. Древостой V класса бонитета имеет состав 10С+Е,Б,Ос со средним возрастом 118 лет. Плотность растущих деревьев – $1210 \text{ экз. га}^{-1}$, запас древесины – $197 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$. Средняя высота – 12.9 м, диаметр – 16.3 см. Подлесок состоит из единичных деревьев рябины и ивы. Подрост плотностью 2.2 тыс. экз. га^{-1} имеет состав 59Б33С8Е и представлен в основном деревьями высотой 0.6-1.5 м. Травяно-кустарничковый ярус с проективным покрытием 50-70% сложен черникой, голубикой, водяникой, багульником, осокой шаровидной и кассандрой. Почти сплошной моховой покров состоит из сфагновых (*Sphagnum warnstorffii*, *S. angustifolium*, *S. medium*) и зеленых (*Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens*) мхов. Встречаются пятна лишайников из рода *Cladonia*. Почва торфянисто-подзолисто-глевая иллювиально-железистая, песчаная, с глубины 110 см подстилается супесями, характеризуется мощной ($18 \pm 5 \text{ см}$) подстилкой. Содержание углерода в подстилке – 37-45%, ее рН – около 3.5.

Измерение эмиссии углекислого газа с поверхности почвы (включая подстилку) проводили в течение вегетационных периодов 2008-2010 гг. При измерении потока CO_2 с поверхности почвы использовалась открытая динамическая (принудительной продувки) камера. Использовали инфракрасный газоанализатор (ИКГ) LI-COR 8100 (LI-COR Biosciences, США) с почвенной камерой (survey chamber 20 cm 8100-103). Учет таких факторов, влияющих на значения эмиссии CO_2 из почвы, как изменение давления внутри измерительной камеры при ее установке, способ перемешивания анализируемой воздушной смеси, рост концентрации CO_2 в камере и эффект растворения газа в водном паре, позволяет считать ее эталонной. Методика и принципы измерения эмиссии на ИКГ LI-COR приведены в специальной литературе (Healy et al., 1996). Измерения скорости выделения CO_2 из почв проводились два-три раза в месяц. В течение суток делали 100-120 замеров, значения которых усреднялись для получения величины среднесуточных потоков CO_2 из почв. В 2008 г. было выполнено 16, 2009 г. – 14, 2010 г. – 12 измерений. Стационарные кольца (collar) площадью 318 см² врезались в подстилку в пятикратной повторности. Ассимилирующую часть напочвенного покрова удаляли. Почвенную камеру газоанализатора устанавливали на воротничок. Длительность одного измерения 2 мин., принудительная продувка камеры после измерения – 45 сек., пассивная – 7 мин.

На основе проведенных измерений в течение месяца рассчитывали величину среднемесячного потока CO_2 из почвы как среднеарифметическое. Для оценки выделения диоксида углерода в течение вегетационного периода использовали уравнение (4.1):

$$E = \sum_{i=1}^j (R_i \times N_i), \quad (2.4.1)$$

где E – эмиссия C-CO_2 за сезон, мг C m^{-2} ; R – среднемесячная эмиссия CO_2 , мг $\text{C m}^{-2} \text{ сут}^{-1}$; N – число дней в месяце.

Температуру и влажность почвы непрерывно измеряли в почасовом режиме с 3 июля 2008 г. по 1 ноября 2010 г. датчиками фирмы НОВО (США). Полученные данные усредняли за сутки. В 2010 г. одновременно с измерением эмиссии CO_2 определяли влажность почвы весовым методом (Роде, 1960).

Характеристика погодных условий вегетационных периодов. В течение вегетационного периода в 2008 г. сумма среднесуточных температур выше +5 °С составила около 900 °С, что выше средних многолетних значений на 8-10%. Осадков в течение мая-октября того же года выпало близко к норме (412 мм). В мае 2008 г. (табл. 2.45.) преобладала холодная погода (+5.5 °С), которая сохранилась и в начале июня. Постепенное повышение температуры произошло во II декаде июня, теплая погода установилась лишь в III декаде месяца. В июле преобладала жаркая, в августе – умеренно-теплая, в сентябре – прохладная погода. В октябре было очень тепло, среднемесячная температура превысила среднемноголетние значения на 3.8 °С. Осадков в мае выпало близко к норме, в июне, июле и первой декаде августа отмечался их дефицит. Во второй половине августа погода была дождливой, осадков отмечено в два раза больше нормы. Август в осенний период распределялись неравномерно: в первой декаде сентября было дождливо, а октябрь был более сухим, средне-статистический год.

В течение вегетационного периода 2009 г. сумма среднесуточных температур выше 5 °С составила около 1100 °С, что выше средних многолетних на

Таблица 2.45

**Характеристика погодных условий в течение вегетации 2008-2010 г.г.
(по данным метеостанции «Усть-Вымь») (Агрометеорологический..., 2008, 2009, 2010)**

Месяц	Температура воздуха, °С		Осадки, мм	
	Среднемесячная	Отклонение от нормы	Сумма, мм	В % к норме
2008 г.				
Май	5.5	-1.3	51	106
Июнь	14.3	0.6	48	72
Июль	18.6	2.3	42	61
Август	13.3	-0.4	144	215
Сентябрь	6.5	-1.0	72	107
Октябрь	3.9	3.8	55	95
Среднее за сезон	10.4	0.5	412	99
2009 г.				
Май	8.2	1.4	40	83
Июнь	14.0	0.3	106	158
Июль	15.9	-0.4	114	165
Август	13.3	-0.4	49	73
Сентябрь	11.3	3.8	91	136
Октябрь	1.3	1.2	65	112
Среднее за сезон	10.7	0.8	465	112
2010 г.				
Май	12.5	5.7	59	123
Июнь	13.2	-0.5	111	166
Июль	19.8	3.5	12	17
Август	15.1	1.4	42	63
Сентябрь	7.7	0	39	58
Октябрь	1.9	2	46	79
Среднее за сезон	11.7	1.8	309	74

18-20%. Сумма осадков за май-октябрь составила 465 мм и была на 112% от нормы. Весенние месяцы 2009 г. характеризовались контрастной погодой. В мае кратковременные похолодания чередовались с теплыми периодами, в июне в первой половине месяца преобладала теплая, а во второй – холодная погода. Начало июля было холодным, затем с 12 числа до конца месяца стояла довольно теплая погода. В августе теплые периоды чередовались с холодными. Осенние месяцы были теплыми с превышением среднемесячных температур на 1.2-3.8 °С. В целом, осадки за июнь-июль и в осенние месяцы превысили норму.

Сумма среднесуточных температур выше 5 °С в течение вегетации 2010 г. достигла 1400 °С, что превысило среднюю многолетнюю на 27-30%, тогда как осадков выпало мало – 309 мм, или 74% от нормы. В мае 2010 г. преобладала теплая погода, в начале июня произошло незначительное похолодание. Начиная с III декады июня, установилась жаркая погода, сохранившаяся до начала августа. В августе и сентябре теплые периоды чередовались с холодными. Октябрь был теплым. В мае-июне выпадение осадков превышало норму, а в остальные месяцы выпало меньше, чем средние многолетние величины.

В целом, вегетационные периоды в годы исследований характеризовались относительно теплыми погодными условиями. Температура воздуха была на

0.5-1.8 °C выше нормы. В 2008 г. выпадение осадков было близко к средне-многолетним значениям, в 2009 г. – больше, 2010 г. – меньше. Погодные условия вегетационных периодов 2008-2010 гг. во многом обусловили биологические процессы, протекающие в почве экосистемы чернично-сфагнового сосняка.

Сезонная динамика эмиссии CO₂. Эмиссия углекислого газа с поверхности почвы по причине изменения влияющих на нее факторов имеет определенную сезонную динамику (рис. 2.26). Выявлено, что сразу после схода снега наблюдается увеличение потока CO₂ с поверхности почвы. В мае 2010 г., в связи с ранним таянием снега, подобную картину выявить не удалось, в отличие от 2009 г., когда были проведены измерения сразу после схода снега. Динамика выделения CO₂ с июня по октябрь в 2008 и 2009 гг. примерно одинакова, поэтому приведен рисунок с данными только для 2009 г., включающими май. В 2008 и 2009 гг. наблюдалось постепенное увеличение интенсивности среднесуточного потока CO₂ в конце июля–начале августа, который достигал 1200-1400 мг С м⁻² сут⁻¹ в 2008 г., и 500-600 – в 2009 г. Затем наблюдалось снижение интенсивности выделения CO₂ из почвы, а в октябре этот процесс практически полностью затухал.

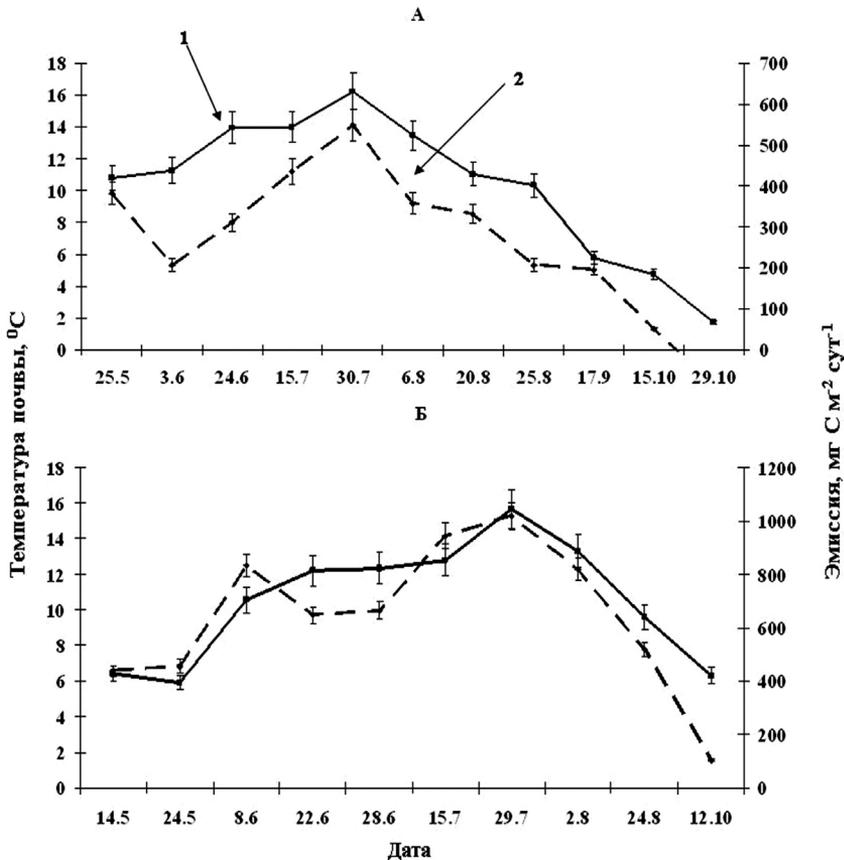


Рис. 2.26. Сезонная динамика потока CO₂ с поверхности почвы. А – 2009 г.; Б – 2010 г. 1 – температура почвы, °C; 2 – эмиссия, мг С м⁻² сут⁻¹. Вертикальные линии на графике – STD.

В течение вегетационного периода 2010 г. установлено два максимума выделения диоксида углерода. Первый отмечался в июне, когда величина потока CO_2 из почв достигла $800 \text{ мг С м}^{-2} \text{ сут}^{-1}$, а второй был более выражен ($1100 \text{ мг С м}^{-2} \text{ сут}^{-1}$) и наблюдался в конце июля–начале августа. Последнее увеличение выделения диоксида углерода с поверхности почвы связано, по-видимому, с накоплением тепла в органогенном горизонте и почве, а также максимальным уровнем развития биоты. Пик выделения CO_2 в июне 2010 г., как мы считаем, обусловлен сочетанием достаточного накопления тепла в почве к этому времени и избыточного выпадения осадков.

Схожая кривая сезонной динамики выделения CO_2 была описана ранее К.И. Кобак (1988), Б.Н. Макаровым (1988), а для среднетаежных еловых сообществ Республики Коми – А.В. Машикой (2006) и М.А. Кузнецовым (2010). В указанных работах отмечается, что изменения дыхания почвы связаны с особенностями гидротермического режима и интенсивностью биологических процессов в почве. Согласно П.С. Николовой (Nicolova et al., 2009), в буквых и еловых лесах Германии в засушливом 2003 г. также отмечался двойной пик почвенного дыхания, который приходился на начало июня и конец июля–начало августа. М.Б. Селтед с соавторами (Selsted et al., 2012) выявили уменьшение потока CO_2 с поверхности почвы злаково-вересковой пустоши в засушливое лето 2005 г. Авторы предполагают, что основной причиной снижения интенсивности эмиссии углекислого газа является недостаток влаги в почве, что ведет к ослаблению жизнедеятельности микробов (Jensen et al., 2003; Borken et al., 2006), корней (Borken et al., 2006) и почвенной фауны (Maraldo et al., 2009).

Влияние экологических факторов на поток CO_2 с поверхности почвы. Как уже было отмечено выше, гидротермические условия являются наиболее значимыми экологическими факторами, определяющими скорость деструкции органического вещества и интенсивность выделения CO_2 из почв. Традиционно количественную оценку влияния температуры и влажности на величину дыхания почвы проводят используя линейные или экспоненциальные регрессионные модели (Лопес де Гереню и др., 2001; Замолотчиков, 2003; Курганова, 2010).

Нами была проанализирована величина потока CO_2 из почвы в зависимости от температуры почвы на глубине 10 см и влажности почвы на границе между органогенным и минеральным горизонтами. При анализе применяли линейные уравнения зависимости выделения диоксида углерода от экологических факторов.

Расчет парных коэффициентов корреляции между среднесуточными потоками углекислого газа из почв и температурой почвы на глубине 10 см показал высокую положительную связь ($r = 0.71$, $\alpha = 0.05$) между этими параметрами в сосняке чернично-сфагновом на болотно-подзолистой почве (рис. 2.27). Эта связь описывается линейным уравнением вида

$$E = 0.05T - 0.04, \quad (2.4.2)$$

где E – эмиссия, $\text{мг С м}^{-2} \text{ сут}^{-1}$, T – температура почвы, $^{\circ}\text{C}$.

Влияние влажности почвы на эмиссию CO_2 из почвы неоднозначно и проследить его сложнее из-за сравнительно небольших колебаний показателей этого экологического фактора. Как показали наши исследования, достоверной зависимости между выделением CO_2 и влажностью почвы не выявлено (рис. 2.28).

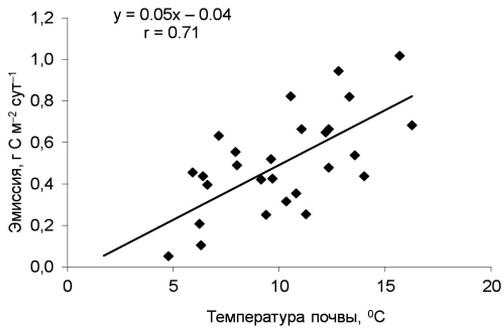


Рис. 2.27. Взаимосвязь между эмиссией CO_2 с поверхности почвы и ее температурой.

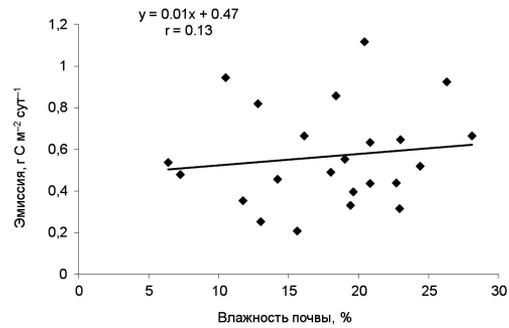


Рис. 2.28. Взаимосвязь между эмиссией CO_2 с поверхности почвы и ее влажностью.

И.Н. Курганова и В.Н. Кудеяров (1998) отмечают, что связь эмиссии CO_2 с температурой почвы всегда положительная, особенно в северо- и среднетаежной подзонах тайги ($r = 0.54-0.79$), тогда как с влажностью почвы эта связь менее тесная и может быть как положительной, так и отрицательной. Исследованиями В.В. Мамаева и А.Г. Молчанова (2004) показано, что в сухое время года фактором, лимитирующим процесс эмиссии CO_2 из почв лесостепных дубрав, является влажность почвы, а во влажное время – это температура почвы. А.В. Машика (2006) приводит данные, подтверждающие тесную положительную связь между интенсивностью выделения углекислого газа с поверхности типичной подзолистой почвы средней тайги и ее температурой. Однако эта связь была менее тесная во влажный год. Им также отмечается тесная отрицательная связь эмиссии CO_2 с влажностью почвы, особенно подзолистого горизонта. В работе М.А. Кузнецова (2010) показана тесная связь между выделением CO_2 с поверхности торфянисто-подзолисто-глеевой почвы среднетаежного ельника чернично-сфагнового от температуры почвы и слабая от ее влажности.

В.Н. Кудеяров и И.Н. Курганова (2005) отмечают, что величина потока CO_2 из серых почв южной тайги определяется прежде всего суммой осадков в весенне-летний период и увеличивается пропорционально им, особенно в сухие годы.

Полученные нами данные и анализ литературы свидетельствуют о том, что повышенная влажность болотно-подзолистой почвы спелого сосняка чернично-сфагнового в условиях средней тайги оказывает негативное воздействие на ее дыхание. При повышении температуры и уменьшении запасов влаги в органогенном горизонте наблюдается активизация биологических и физических процессов, а следовательно, увеличение интенсивности выделения углекислого газа в атмосферу.

Для более полной оценки связи между эмиссией CO_2 из почв и гидротермическими показателями нами был проведен двухфакторный корреляционный анализ. Полученная зависимость довольно тесная ($r = 0.57$; $\alpha = 0.05$) и описывается линейным уравнением вида

$$E = 44 \cdot T - 172 \cdot B + 84, \quad (2.4.3)$$

где E – эмиссия, $\text{мг С м}^{-2} \text{сут}^{-1}$; T – температура почвы на глубине 10 см, $^{\circ}\text{C}$; B – объемная влажность почвы на границе органогенного и минерального горизонтов, $\text{м}^3 \text{м}^{-3}$.

Оценку общего потока CO_2 из почв в течение вегетации проводили по экспериментальным данным, используя уравнение 4.1 (табл. 2.46), и расчетным путем с помощью линейных регрессионных уравнений, описывающих скорость эмиссии CO_2 из почв только от температуры почвы (уравнение 2.4.2) и от температуры и влажности почвы (уравнение 2.4.3). Было найдено, что в зависимости от способа оценки потери углерода с поверхности почвы различаются по годам (табл. 2.46). Так, в 2008 г. суммарная эмиссия C-CO_2 варьировала от 52 до 90 г C m^{-2} . Следует отметить, что непрерывная регистрация температуры и влажности почвы началась только с 3 июля 2008 г., тогда как в расчет по уравнению 2.4.1 были включены июньские данные. Поток углекислого газа с поверхности почвы в 2009 г. составил 68-74, а в 2010 г. 70-100 г C m^{-2} . В 2010 г. наблюдались более высокие величины эмиссии C-CO_2 с поверхности почвы, которые были обусловлены рано наступившей весной и жаркой погодой в течение лета. Следует отметить, что в год с максимальным выпадением осадков в течение вегетационного периода (в 2009 г.) отмечалась наименьшая экспериментально определенная величина потока углерода с поверхности почвы в атмосферу. Это подтверждает полученное ранее заключение о негативном влиянии переувлажнения почвы на выделение углекислого газа с поверхности почвы в условиях средней тайги.

Проведенные расчеты показали, что экспериментальные и расчетные значения потока углерода с поверхности почвы хорошо согласовались для данных 2009 г. В 2010 г. уравнение 2.4.3 дает более близкие значения к экспериментальным, чем уравнение 2.4.2. Это связано с тем, что в жаркий 2010 г. наблюдалось значительное уменьшение количества осадков, что привело к улучшению гидрологического режима переувлажненной торфянисто-подзолисто-глеватой иллювиально-железистой почвы сосняка. Следовательно, при расчетах сезонного выделения углекислого газа с поверхности болотно-подзолистых почв заболоченных экосистем необходимо учитывать температуру и влажность почвы. В засушливое лето 2003 г. отмечено незначительное (около 10%) снижение годового выноса CO_2 с поверхности почвы спелого пихтового сообщества, тогда как в спелых буковых и еловых насаждениях – повышение на 10-15% (Pannatier et al., 2012). Сокращение годового потока диоксида углерода в этот год отмечено также в буковых и еловых лесах Германии (Nicolova et al., 2009).

Полученные нами величины выделения углерода в атмосферу получились несколько ниже имеющихся в литературе данных, что обусловлено недостатком экспериментальных исследований дыхания болотно-подзолистых почв под сосняками. Ранее отмечалось (Смирнов, 1955; Мина, 1957; Карпачевский, 1981), что почвам низкопродуктивных насаждений присущ невысокий уровень биологической активности и, следовательно, выделения углекислого газа с поверхности почвы в атмосферу.

Таким образом, в условиях средней тайги торфянисто-подзолисто-глеватая иллювиально-железистая почва спелого сосняка чернично-сфагнового характеризуется невысо-

Таблица 2.46
Суммарное расчетное количество потерь углерода в форме CO_2 с поверхности почвы в течение вегетации, г C m^{-2}

Способ оценки	Год		
	2008	2009	2010
Эксперимент	90	68	100
Уравнение 2.4.2	52	69	70
Уравнение 2.4.3	58	74	90

Примечание. Учтена площадь поперечных сечений деревьев древостоя (20 $\text{m}^2 \text{га}^{-1}$).

кой эмиссией углекислого газа, что обусловлено неблагоприятными гидро-термическими условиями. Взаимосвязь между эмиссией CO_2 и температурой почвы характеризуется как высокая положительная ($r = 0.71$), достоверной связи эмиссии с влажностью почвы не выявлено. Отмечается значительная связь ($r = 0.57$) эмиссии CO_2 с поверхности почвы от совместного действия температуры и влажности почвы. Относительно высокие величины потока углекислого газа наблюдаются в конце июля – начале августа, что обусловлено максимальным накоплением тепла и интенсивным развитием биоты в почве. Установлено, что с поверхности почвы спелого сосняка чернично-сфагнового за вегетационный период, в зависимости от особенностей погодных условий, выделяется 68-100 г С м⁻². При описании эмиссии CO_2 с поверхности почвы необходимо применять зависимости от температуры и влажности почвы.

2.4.2. Выделение CO_2 с поверхности почвы в ельнике чернично-сфагновом

Почва является одновременно природным источником, стоком и резервуаром углерода (Conrad, 1996; Семенов и др., 2010 и др.). Диоксид углерода в почве образуется в результате микробной деструкции почвенного органического вещества в свободных от корней и растительных остатков зонах (базальное дыхание), разложения почвенного органического вещества в смежных с корнями и растительными остатками зонах (ризосферный прайминг-эффект), деструкции растительных остатков, разложения ризодепозитов живых корней (ризомикробальное дыхание), дыхание корней (Kuzyakov, 2006). Основные абиотические механизмы внутрипочвенного связывания CO_2 – это растворение, сорбция, выпадение карбонатов, заземление в микропорах (Смагин, 1999). Содержащийся в почвенном воздухе диоксид углерода может ассимилироваться автотрофными бактериями, а также многими видами анаэробных и аэробных микроорганизмов (Miltner et al., 2005; Santruckuckava et al., 2005). Свой вклад в продукцию почвенного CO_2 вносит дыхание почвенных беспозвоночных, но подобные работы редки (Бызова, 2007). На эмиссию CO_2 из почвы оказывает влияние климат, тип леса и почвы. Оценка общей эмиссии CO_2 изменчива и динамична, поэтому необходимы ее региональные исследования.

Как было показано в главе 1 данной работы, еловые леса как на территории Республики Коми, так и на ООПТ являются доминирующими, следовательно, их значение в цикле биосферного углерода велико. Примерно половину площади ельников республики занимают заболоченные (долгомошные и сфагновые) типы сообществ (Юдин, 1954; Бобкова, 1987). Работы по изучению эмиссии углекислого газа из почв среднетаежных ельников в Республике Коми единичны (Фролова, 1961; Забоева, 1975; Машика, 2006). Они проводились в ельниках зеленомошных, развитых на автоморфных подзолистых почвах. Цель данного раздела работы – оценка эмиссии углекислого газа с поверхности болотно-подзолистой почвы ельника в зависимости от температуры и влажности.

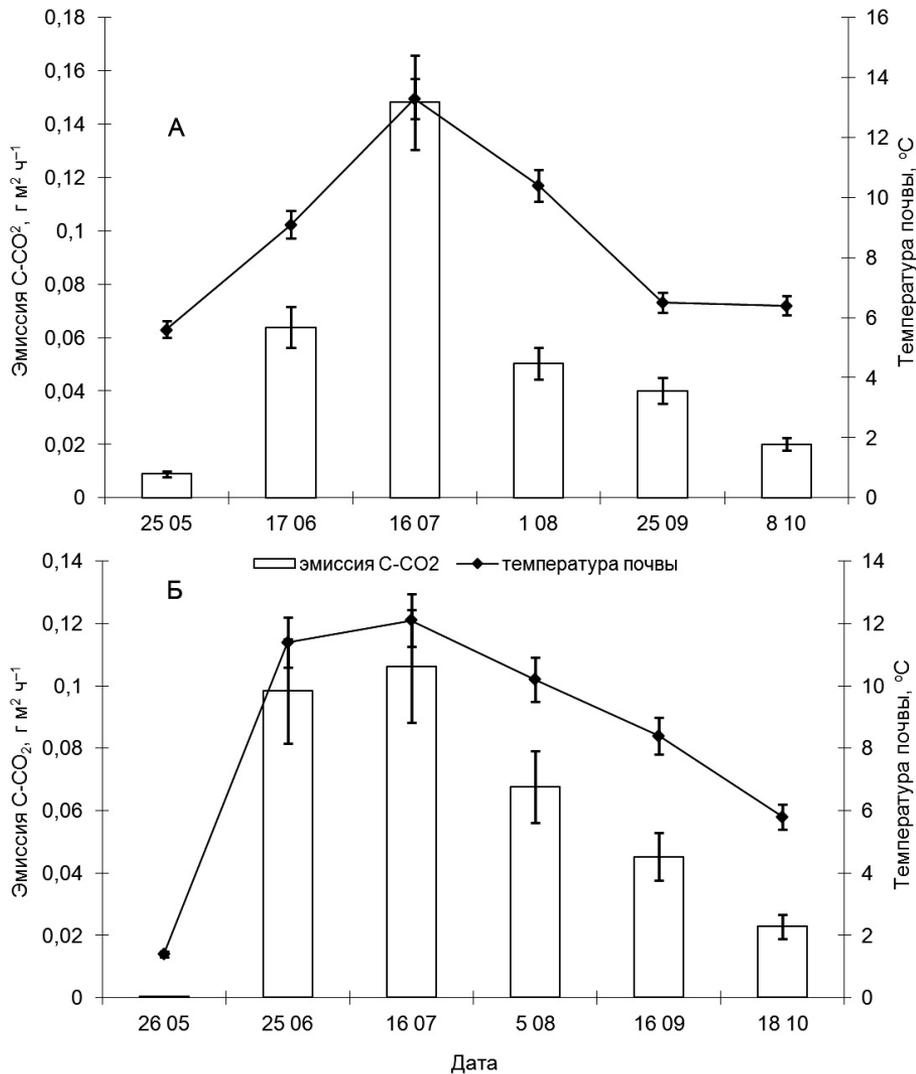
Работа выполнена на территории лесного заказника «Ляльский» (62°17' с.ш., 50°40' в.д). Исследования проводили в 2008-2009 гг. в старовозрастном ельнике чернично-сфагновом. Древостой V класса бонитета, разновозрастный (106-200 лет), состав его 9Е1В+С ед.Пх. Средняя высота ели составляет 16 м, средний диаметр – 20 см. Травяно-кустарничковый ярус имеет проек-

тивное покрытие 60-70%, число видов 21: хвощ лесной, осока шаровидная, костяника обыкновенная, костяника хмелелистная, черника, брусника, линнея северная, майник, княженика, седмичник, кислица, голокучник, лютик, фиалка болотная, мятлик луговой, бодяк полевой, марьянник луговой, луговник извилистый, ожика волосистая, золотая розга, дудник. Моховой покров с покрытием 80-90% образован сфагновыми мхами, на прикомлевых возвышениях встречаются небольшие пятна *Polytrichum commune* и зеленых мхов *Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens*, *Rhytidiadelphus triquetrus*. Запасы органической массы древесного яруса составляют 178.74 т га⁻¹, или 85.48 тС га⁻¹ (Бобкова и др., 2010). Почва торфянисто-подзолисто-глееватая суглинистая, подстилаемая глиной (легкой), оглеена по всему профилю. Мощность подстилки составляет 13 см. В почве сконцентрировано 81.3 тС га⁻¹ (Осипов, Кузнецов, 2010).

Методика измерения диоксида углерода и погодные условия 2008-2009 гг. приведены в гл. 2.2.1. Температуру почвы измеряли при помощи автономных термисторов Logger Нобо (США). Измерение велось в непрерывном почасовом режиме в течение всего вегетационного периода. В сроки измерений эмиссии CO₂ производили отбор почвенных образцов до глубины 60 см для определения влажности почвы весовым методом (Роде, 1971).

В конце мая 2008 г. в ельнике чернично-сфагновом пятнами лежал снег. Эмиссия углекислого газа из почвы в дневное время в этот период варьировала от 6.5 до 10.7 мг С м⁻² ч⁻¹. В июне его выделение в дневное время составило 18.6-61.5 и ночью повышалось до 74.1 мг С м⁻² ч⁻¹. В ночные часы наблюдались кратковременные выбросы CO₂, достигающие 95.5-115.5 мг С м⁻² ч⁻¹. Среднесуточное значение выделения CO₂ в июне составило 63.8 мг С м⁻² ч⁻¹. В июле 2008 г. была жаркая погода (температурное отклонение от среднемесячной температуры было +2.3 °С) и наблюдался недостаток осадков, поэтому эмиссия углекислоты в этот период достигала наибольшего значения и изменялась в основном в пределах 64.3-176.6 мг С м⁻² ч⁻¹, периодически в ночное время составляла 187.3-267.9, среднесуточное значение эмиссии CO₂ равнялось 148.2 мг С м⁻² ч⁻¹. В августе, характеризовавшимся дождливой погодой, отмечается снижение выделения CO₂ днем в среднем до 23.8 и увеличение почти в три раза в вечернее и ночное время, составляя в среднем 71.7 мг С м⁻² ч⁻¹. Среднесуточный показатель эмиссии в августе ниже, чем в июне-июле и равняется 50.3 мг С м⁻² ч⁻¹. В середине сентября выделение CO₂ в дневное и вечернее время составляло 14.9 и 21.4 мг С м⁻² ч⁻¹ соответственно. В конце сентября в вечерние и ночные часы эмиссия CO₂ в среднем равнялась 40.1 мг С м⁻² ч⁻¹, хотя и фиксируются кратковременные выбросы 46.6-56.4, итого за сутки выделилось 40.1 мг С м⁻² ч⁻¹. При дневных измерениях в октябре наблюдали сильный разброс показателей эмиссии CO₂ от 7.9 до 29.8, в среднем она составила 20.0 мг С м⁻² ч⁻¹ (рис. 2.29А).

В конце мая 2009 г. почва ельника чернично-сфагнового была затоплена талыми водами и эмиссия CO₂ с ее поверхности варьировала от отрицательных (-4.7 мг С м⁻² ч⁻¹) до небольших положительных значений (+6.1 мг С м⁻² ч⁻¹), средний показатель составил 0.02 мг С м⁻² ч⁻¹. В июне этого года эмиссия углекислого газа носила скачкообразный характер: наблюдались кратковременные флуктуации, в два-три раза превышающие среднесуточные значения. Увеличения, как правило, отмечались в ночное время в 21-23 ч, в дневное – 10-11 ч и вечернее – 15-16 ч. В июне 2009 г. эмиссия CO₂ составила 98.3 мг С м⁻² ч⁻¹. Сходная динамика погодных условий в июле создала анало-

Рис. 2.29. Сезонная динамика эмиссии CO₂ с поверхности почвы: А – 2008 г.; Б – 2009 г.

гичный скачкообразный характер выделения CO₂. В этом месяце эмиссия CO₂ с поверхности почвы составила 106.2 мг С м⁻² ч⁻¹. В сентябре-октябре произошло снижение выделения CO₂ и составляло в среднем 45.2 и 22.8 мг С м⁻² ч⁻¹ соответственно. Полученный сезонный ход эмиссии CO₂ из почвы объясняется погодными условиями вегетационного периода: холодные периоды чередовались с теплыми и отмечалось превышение среднемесячной нормы осадков в июне-июле и осенние месяцы (рис. 2.29Б.).

Суточные наблюдения показали, что в конце мая 2008 г. выделение CO₂ из почвы ельника чернично-сфагнового составляет 6.5-10.7, возрастает в июне – 18.6-61.5 и достигает максимума в июле – 85.3-157.9 мг С м⁻² ч⁻¹. В августе наблюдается понижение выделения углекислого газа из почвы, составляя

23.8-71.7 мг С м⁻² ч⁻¹, с последующим затуханием в осенние месяцы. В 2009 г. в конце мая среднее значение эмиссии СО₂ составило 0.02 мгСм⁻² ч⁻¹. В июне-июле его выделение резко возросло до 98.3 и 106.2 мгСм⁻² ч⁻¹ соответственно. С августа (67.6 мг С м⁻² ч⁻¹) идет снижение эмиссии СО₂, и в осенние месяцы она составила 45.2-22.8 мг С м⁻² ч⁻¹ (рис. 2.29).

Исследования К.И. Кобак (1988), Б.Н. Макарова (1988), А.В. Смагина (1999), Е.Е. Ялынской (1999), А.В. Машики (2006), А.Г. Молчанова (2007) и др. показали, что сезонная динамика почвенного дыхания в целом и эмиссии углекислого газа в частности определяются изменениями гидротермического режима и интенсивности биологических процессов в почве. Увеличение эмиссии СО₂ с поверхности почвы в хвойных сообществах в июле объясняют интенсивным развитием биоты, максимальным накоплением тепла при достаточной влажности верхних горизонтов (Кобак, 1988; Мамаев, Молчанов, 2004). В лесных сообществах максимум эмиссии СО₂ приурочен к периоду наиболее интенсивного роста растений (Trumbore, 2000).

А.В. Машика (2006), изучавший эмиссию диоксида углерода в среднетаежном ельнике черничном на территории Ляльского заказника, развитом на автоморфной типичной подзолистой почве, отмечает следующую сезонную динамику почвенного дыхания. Количество выделяющегося СО₂ из почвы в середине мая после схода снега составляет 0.10-0.20 г СО₂ м⁻² ч⁻¹ (29.4-58.8 мг С м⁻² ч⁻¹), постепенное увеличение в 2002 г. и более резкое в 2003 г., достигая наибольших величин в июле-августе, составляя 1.0-1.5 г СО₂ м⁻² ч⁻¹ (294.1-441.2 мг С м⁻² ч⁻¹), и последующее постепенное снижение к осени, составляя в конце октября 0.04-0.10 г СО₂ м⁻² ч⁻¹ (11.8-29.4 мг С м⁻² ч⁻¹).

Таким образом, мы видим, что интенсивность эмиссии СО₂ с автоморфной типичной подзолистой почвы ельников в два-три раза выше, чем с полугидроморфной торфянисто-подзолисто-глеевой почвы еловых сообществ. Такое различие объясняется особенностями гидротермического режима почв. Полугидроморфные почвы отличаются избыточным увлажнением в течение большей части вегетационного периода. Почвенная верховодка исчезает лишь в сухие годы, сквозное промачивание в этих почвах протекает более длительный период, чем в автоморфных условиях. Неблагоприятный водный режим («стояние» воды весной и переувлажнение осенью), периодический анаэробизм в ризосфере сокращают период вегетации и активность почвенной биоты. Мощная грубогумусная подстилка мешает прогреванию почвы. Температура обеспечивает активную жизнедеятельность корней в пределах верхней толщи почвы мощностью менее 50 см (Забоева, 1975; Бобкова, 1987; Галенко и др., 2008). Состав и свойства микробиоты болотно-подзолистых почв определяются преимущественно неблагоприятными условиями питания и наличием в растительном опаде бактерицидных соединений. Бактерицидные свойства лесных подстилок препятствуют жизнедеятельности актиномицетов и бактерий. В микробоценозе органометных горизонтов подзолистых почв под хвойными лесами преобладают микроскопические грибы (Хабибуллина, 2009).

Полученные нами данные вполне согласуются с данными литературы. Результаты исследований дыхания заболоченных почв показывают, что, как правило, они характеризуются низкими значениями интенсивности выделения СО₂. Избыток влаги и связанный с этим недостаток кислорода ограничивают деструкцию органического вещества и дыхания почвы. По данным В.Н. Смирнова (1955), интенсивность почвенного дыхания в заболоченных сосняках в два раза ниже, чем в суходольных типах сосняков. Такие же закономер-

ности отмечены и в исследованиях К.И. Кобак (1988). По ее данным сосняки кисличные характеризуются более интенсивным (в два раза) выделением CO_2 из почв – $11 \text{ г CO}_2 \text{ м}^{-2} \text{ сут}^{-1}$ – по сравнению с сосняками сфагновыми – $5.6 \text{ г CO}_2 \text{ м}^{-2} \text{ сут}^{-1}$. Однако в засушливые годы переувлажненные почвы сфагновых и долгомошных сосняков ($8.4 \text{ г CO}_2 \text{ м}^{-2} \text{ сут}^{-1}$) оказываются в более выгодном положении в сравнении с сосняками кисличными ($6.9 \text{ г CO}_2 \text{ м}^{-2} \text{ сут}^{-1}$), так как в такие периоды значительно увеличивается порозность и аэрация почв, повышается температура, что усиливает процессы деструкции в верхних слоях почвы.

Непрерывная регистрация потока CO_2 с поверхности почв позволила выявить суточные колебания в его интенсивности в ельнике чернично-сфагновом. В течение всего вегетационного периода отмечается понижение интенсивности CO_2 -газообмена почвы в утренние и дневные и повышение в вечерние и ночные часы. Такая же динамика выделения CO_2 в сосновых сообществах была отмечена ранее другими исследователями (Ялынская, 1999; Молчанов, 2007).

Анализ суточной динамики потоков CO_2 из почвы показывает наличие многочисленных кратковременных всплесков выделения углекислоты в атмосферу, особенно хорошо заметных в ночное время. Такие флуктуации были зафиксированы в ельнике чернично-сфагновом в подзоне южной тайги (Ольчев и др., 2008). Кратковременные всплески возможны, видимо, за счет выноса CO_2 с поверхности переувлажненной торфянистой почвы, особенно в ночное время. Влажность почвы существенно влияет на характер кратковременных колебаний интенсивности эмиссии CO_2 : при недостаточном и избыточном увлажнении почвы происходит резкое затухание осцилляций, а их возобновление – только после оптимизации почвенной влажности (Ларионова, Розанова, 1993; Пулы и потоки..., 2007).

В исследуемом ельнике чернично-сфагновом, развивающемся в условиях переувлажнения почвы, мы отмечаем прямую положительную коррелятивную зависимость скорости эмиссии CO_2 от температуры почвы, ее верхних горизонтов. Форма кривых интенсивности потока углекислоты в общих чертах повторяет ход динамики температуры подстилки (рис. 2.29). При понижении температуры в течение вегетационного сезона параллельно снижалась скорость выделения CO_2 и наоборот. Регрессионный анализ показал положительную корреляцию между среднесуточными значениями температуры и выделения углекислоты, для 2008 г. R^2 составила 0.90, для 2009 г. – 0.79 (рис. 2.30). Влажность почвы в течение суток изменяется незначительно, и обнаружить зависимость между этим показателем и эмиссией не удалось. Величина достоверности аппроксимации была очень низкой в 2008 г. ($R^2 = 0.25$) и средней – в 2009 г. ($R^2 = 0.5$) (Кузнецов, 2010).

Как показывают исследования других авторов (Davidson et al., 1998; Лопес де Гереню и др., 2005; Молчанов, 2007 и др.), в одних случаях выделение CO_2 больше зависит от температуры, в другом – от влажности. В.В. Мамаев и А.Г. Молчанов (2004) отмечают, что в серых лесных почвах дубрав южной лесостепи с изменением влажности почвы от 10 до 30% вынос CO_2 увеличивается, а далее падает. Недостаток влаги в почве ингибирует влияние температуры на выделение CO_2 . В сухие годы отмечают отсутствие зависимости температуры от эмиссии CO_2 , а во влажные – ее четкую выраженность. В нашем случае, чернично-сфагновый ельник, развитый на торфянисто-подзолисто-глееватой почве, в течение всего вегетационного сезона находится в состо-

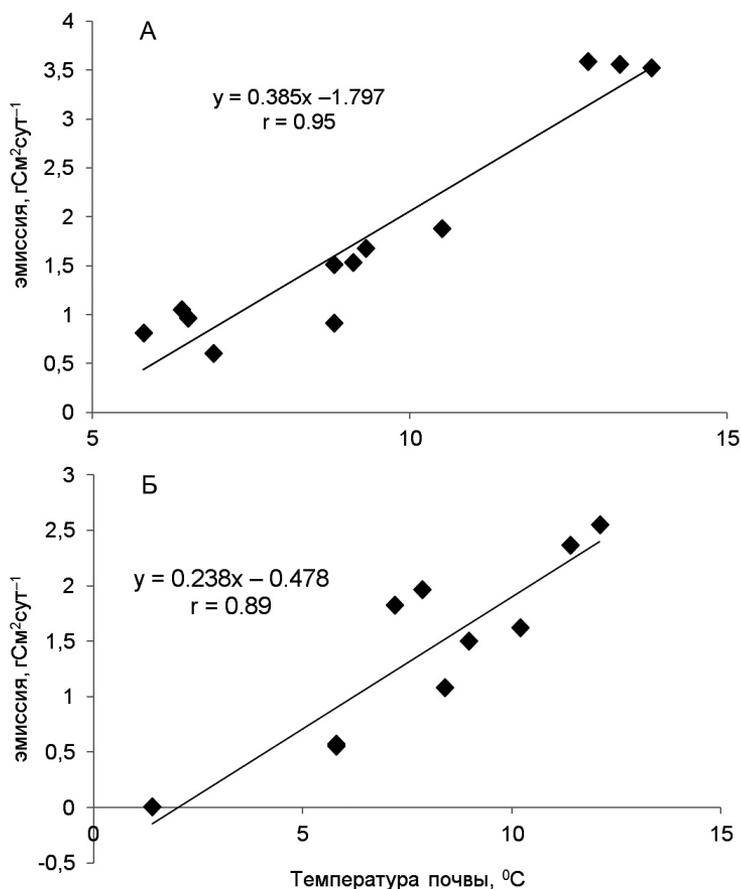


Рис. 2.30. Зависимость интенсивности эмиссии CO₂ от температуры почвы на глубине 10 см за вегетационный период: А – 2008 г.; Б – 2009 г.

янии переувлажнения. При таком состоянии почв лимитирующим фактором выделения CO₂ выступает температура.

Менее всего изучена эмиссия CO₂ почвами за зимний период. Имеющиеся единичные данные литературы противоречивы. Согласно данным А.А. Ларионовой (цит. по Кудеярову и др., (2007), выделения CO₂ из почвы незначительны и не превышают 1-2% от суммарной годовой продукции CO₂. По мнению других исследователей (Pajary, 1995; Alm et al., 1999), зимнее дыхание почв в экосистемах бореальной зоны составляет больше 20% от годового потока CO₂. В.О. Лопес де Греню с соавторами (2005) получили близкие данные по зимней эмиссии CO₂ для серой лесной почвы Подмосквья, которая составила 17-25% от общегодового выделения CO₂.

Наши исследования эмиссии CO₂ из почвы ельника чернично-сфагнового были проведены с января по апрель один раз в месяц и измерялись в течение 3-4 ч в дневное время. Выявлено, что с января по март выделения CO₂ из почвы незначительны и составляют 3.3-4.2 мг С м⁻² ч⁻¹. Полученные данные сопоставимы с эмиссией CO₂ в зимний период для беломошного сосняка средней тайги Западной Сибири (Чебакова и др., 2002) и бореальных лесов Канады

(Mahli et al., 1999). В апреле выделение CO_2 возрастает, достигая $20.5 \text{ мг С м}^{-2} \text{ ч}^{-1}$. Увеличение выделения CO_2 в сосняке Западной Сибири М.Н. Чебакова с соавторами (2002) объясняют усилением стволового дыхания, обусловленным в свою очередь значительным теплообменом в весеннем лесу.

Таким образом, проведенные исследования позволили выявить закономерности сезонной динамики эмиссии углекислого газа с поверхности торфянисто-подзолисто-глеевой почвы старовозрастного ельника чернично-сфагнового. Средняя удельная скорость продуцирования CO_2 с поверхности почвы ельника чернично-сфагнового за вегетационный период (с мая по октябрь) 2008 и 2009 гг. наблюдения составила 2.44 и 2.50 т С га^{-1} соответственно. Вклад зимних потоков в общегодовую эмиссию CO_2 составляет 6-10%. Всего с поверхности торфянисто-подзолисто-глеевой почвы ельника чернично-сфагнового за годы наблюдения выделилось в среднем 2.69 т С $\text{га}^{-1}\text{год}^{-1}$. Большое влияние на процесс выделения CO_2 оказывают погодные условия вегетационного сезона и термические условия болотно-подзолистой почвы. Отмечается положительная корреляция между эмиссией CO_2 с температурой почвы.

Глава 3.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ УГЛЕРОДОДЕПОНИРУЮЩИЕ ПЛАНТАЦИИ СОСНЫ СКРУЧЕННОЙ

Лесовосстановление (воспроизводство лесов) и лесоразведение рассматриваются как меры по увеличению депонирования лесами атмосферного CO₂ (Курбанов, 2007; Strengers et al., 2008). По Лесному Кодексу Российской Федерации (2006) под лесовосстановлением понимается своевременное воспроизводство лесов на непокрытых лесом землях (как правило, вырубках и гарях). Лесоразведение – создание лесов на нелесных землях (участках, вышедших из-под сельскохозяйственного пользования, выработанных карьерах, площадках буровых установок и т.д.). Лесоразведение с использованием быстрорастущих пород способствует смягчению последствий глобальных изменений климата (Arevalo et al., 2011). Например, создание лесных плантаций на неиспользуемых землях сельскохозяйственного назначения повышает запасы углерода не только за счет надземной, но и подземной биомассы (Rytter, 2012). При этом важно использовать древесные породы, которые способны адаптироваться к меняющемуся климату. Предпочтение должно отдаваться породам и разновидностям (происхождениям) из более южных районов относительно района выращивания (Rusanen, Granholm, 2007).

Изучение опыта стран северной Европы со сходным климатом, в частности Швеции и Финляндии, показало, что для условий Республики Коми перспективной в отношении быстроты роста, а следовательно, и депонирования углерода, является сосна скрученная (*Pinus contorta* var. *latifolia*), родиной которой является Северная Америка. На севере Европы первые опытные культуры этой древесной породы были созданы в 1920–1930-х гг. в Финляндии (Lähde et al., 1982) и Швеции (Segebaden, 1993). На северо-западе России культуры сосны скрученной такого же возраста находятся в Ленинградской области и Карелии (Гиргидов, 1952). В 1980–1990-х гг. несколько участков испытательных культур, а также лесосеменная плантация сосны скрученной были созданы в республиках Карелия и Коми, Архангельской и Вологодской областях (Стафеев, 1990; Федяев и др., 2003; Раевский, 2004).

Исследования, проведенные как в Скандинавии, так и на Европейском Севере России показали, что сосна скрученная превосходит сосну обыкновенную по скорости роста более чем на 35% (Раевский, 2010; Varmola et al., 2000; Elfving et al., 2001). В северной Европе сосна скрученная наиболее широко культивируется в Швеции, где создано около 600 тыс. га культур этой породы (Review..., 2011). В результате изучения географических культур сосны скрученной разработано лесосеменное районирование, согласно которому территории Швеции была разделена на шесть лесосеменных зон (рис. 3.1).

Исходным материалом для селекционной программы сосны скрученной послужили более 1200 плюсовых деревьев, отобранных в 1970–1979 гг. по фенотипическим признакам в 120 насаждениях Канады к северу от 50° с.ш.

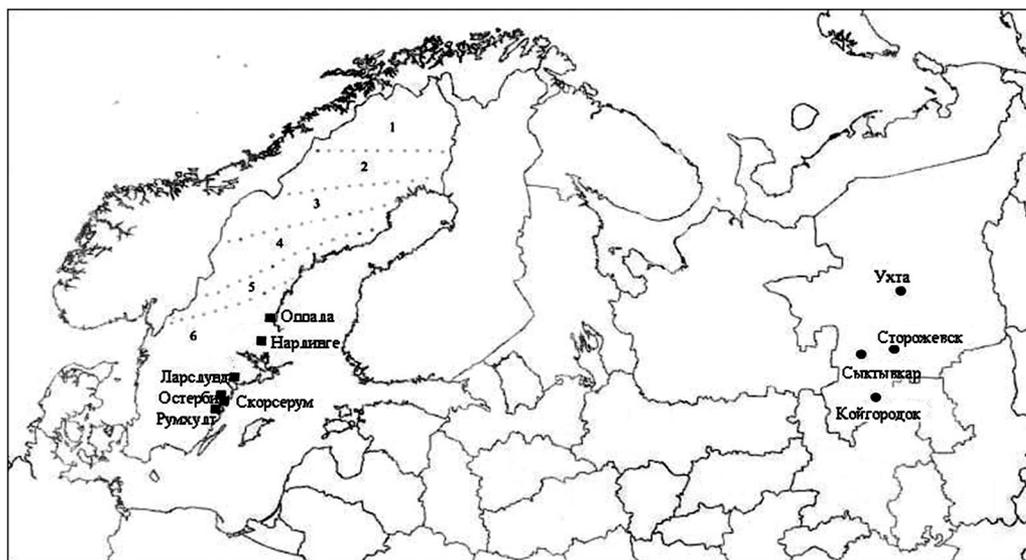


Рис. 3.1. Лесосеменные районы (1-6) и лесосеменные плантации (■) сосны скрученной в Швеции, экспериментальные плантации (●) в Республике Коми.

Семенными потомствами этих плюсовых деревьев по географическому принципу были заложены шесть лесосеменных плантаций (ЛСП), по одной для каждой лесосеменной зоны (рис. 3.1; табл. 3.1) (Ericsson, 1994).

В 2004-2006 гг. под методическим руководством специалистов Института биологии Коми НЦ УрО РАН в Республике Коми была заложена серия экспериментальных плантаций (табл. 3.2; рис. 3.1). Для создания плантаций использовались семена сосны скрученной, полученные на шести ЛСП Швеции, в качестве контроля семена сосны обыкновенной местного происхождения

Таблица 3.1

Характеристика лесосеменных плантаций сосны скрученной в Швеции

Лесосеменные плантации	Географические координаты		Лесосеменная зона	Площадь, га	Число материнских деревьев	Географическая широта района расположения материнских деревьев в Канаде
	Широта	Долгота				
Нарлингге	60°03'	17°01'	1	18.3	100	60°44'–63°40'
Оппала	60°46'	16°56'	2	12.7	211	59°17'–62°40'
Скорсерум	58°00'	16°31'	3	18.2	210	57°36'–60°38'
Ларслунд	58°46'	16°30'	4	15.1	178	55°38'–58°40'
Румхулт	57°41'	16°18'	5	21.7	218	54°17'–56°08'
Остерби	58°08'	16°15'	6	14.3	300	50°51'–53°50'

Таблица 3.2

Характеристика экспериментальных плантаций

Год закладки	Лесничество	Площадь, га	Число растений, шт.	Число блоков	Категория участка
2004	Ухтинское	2.0	1754	13	Карьер
2004	Сторожевское	1.8	2147	12	Сельхозпользования
2004	Койгородское	0.8	2954	9	Карьер
2006	Сыктывкарское	1.1	2301	5	Вырубка

(Федорков, Туркин, 2010). Для посадки использовали 1–2-летние сеянцы, выращенные в полиэтиленовой теплице. Сеянцы высаживались в линейные (рядовые) деланки, расположенные в блоках рендомизированно.

Таким образом, данная серия экспериментальных плантаций включает в себя обширный набор географических происхождений сосны скрученной (шесть ЛСП), высаженных в различных лесорастительных условиях (климатических и почвенных).

3.1. Сезонный рост растений на экспериментальных плантациях

Величина годового прироста дерева в высоту зависит от продолжительности периода роста (Eriksson et al., 2006). С другой стороны, для выживания в условиях холодного климата ритм роста древесных растений должен быть синхронизирован с местным климатом (Hannerz, 1998; Aitken, Hannerz, 2001). Риск повреждений низкими температурами зависит от начала и окончания роста побегов. В то же время быстрый рост играет важную роль в конкуренции с другими деревьями в насаждении.

Изучение сезонной (фенологической) изменчивости роста сосны скрученной и сосны обыкновенной в условиях Фенноскандии показало, что первая начинает рост в высоту раньше и заканчивает его позже сосны обыкновенной (Раевский, 1992; Nilsson, 2001). В отличие от морского климата Фенноскандии, климат Республики Коми является умеренно-континентальным и проявление фенологической изменчивости роста сосны скрученной и сосны обыкновенной здесь может быть иным.

Исследование сезонной изменчивости роста сосны скрученной и сосны обыкновенной было проведено в 2009 г. на экспериментальной плантации, заложенной в Сыктывкарском лесничестве (табл. 3.2). Сохранность культур в сентябре 2009 г. составила от 93 до 96% для сосны скрученной (в зависимости от происхождения) и 76% для сосны обыкновенной. Причиной более высокого отпада растений сосны обыкновенной по сравнению с сосной скрученной было «снежное шютте», вызываемое патогенным грибом *Phacidium infestans*. Для исследования в каждой деланке случайным образом отобрано по четыре растения, т.е. по 20 растений каждого происхождения. Ранней весной, до начала набухания почек, на верхушечном побеге фломастером наносилась черта на расстоянии 10 см от верхнего окончания верхушечной почки. В период набухания почки в мае измерения длины побега от этой черты проводились еженедельно, затем с интервалом в две недели и в конце периода роста в июле – снова еженедельно. В сентябре было проведено окончательное измерение годового прироста верхушечного побега. Вычисленные абсолютные значения прироста были переведены в относительные значения, выраженные в долях от годового прироста. Датами начала и окончания роста приняты дни, когда относительный прирост составлял около 10 и 90% соответственно. Темп прироста рассчитывался в мм сут.⁻¹ в течение недели максимального роста в июне (Nilsson, 2001).

Сумма эффективных температур с начала вегетационного периода на даты измерений прироста рассчитывалась по данным метеостанции Сыктывкар, расположенной примерно в 15 км от экспериментальной плантации. Зависимость между суммами температур (календарными днями) и относительными приростами была аппроксимирована с помощью уравнения вида $y = 1/(1 + be^{(rx + c/x)})$. Для статистического анализа использован пакет программ Statistica 6.0.

Различия между сосной скрученной и сосной обыкновенной статистически значимы по величине годового прироста в высоту, началу и окончанию роста ($p < 0.05$) (табл. 3.3). В среднем для всех происхождений сосны скрученной величина годового прироста составила 315 мм, для сосны обыкновенной – 215 мм. Темп роста верхушечного побега был также выше у сосны скрученной, но эти отличия не были статистически значимы (табл. 3.3, 3.4). Растения сосны обыкновенной начали рост на второй-пятый день позднее растений сосны скрученной и, соответственно, при более высокой (на 20-40 градусо-дней) сумме температур. Окончание роста произошло на 2-12 дней раньше у растений сосны обыкновенной при меньшей (на 25-115 градусо-дней) сумме температур (рис. 3.2а и б). Северные происхождения сосны скрученной показали более раннее начало и окончание роста, а также более высокий темп роста, но эти различия были статистически незначительны ($p > 0.10$) (табл. 3.3).

В целом в условиях умеренно-континентального климата в Республике Коми, как и в условиях морского климата в Швеции (Nilsson, 2001), сосна скрученная начинает рост раньше и заканчивает его позже сосны обыкновенной. Растения происхождения Скорсерум показали более раннее начало и окончание роста, чем растения более северных происхождений Нарлинге и Оппала. Это может быть связано с тем, что насаждения, в которых отобраны материнские деревья для этой лесосеменной плантации, расположены выше над уровнем моря, чем остальные. Известно также, что сохранность сосны скрученной в географических культурах Британской Колумбии (Канада) лучше в том случае, если материнские насаждения расположены выше над уровнем моря (Ying, 1991).

В условиях континентального климата раннее начало роста сосны скрученной может быть преимуществом перед сосной обыкновенной в использовании короткого вегетационного периода. С другой стороны, позднее окончание

Таблица 3.3

Дисперсионный анализ полученных данных

Признак	Породы				Происхождения сосны скрученной			
	df	MS	F	p	df	MS	F	p
Годичный прирост	1	42629	5.956	0.020	5	1268	0.134	0.983
Темп роста	1	14.039	2.194	0.148	5	0.401	0.046	0.998
Начало роста	1	0.0041	9.570	0.004	5	0.0008	2.031	0.110
Окончание роста	1	0.0173	10.974	0.002	5	0.0030	1.950	0.124

Таблица 3.4

Годичный прирост (мм), темп прироста (мм сут.⁻¹),
относительный прирост на начало (28 мая) и окончание роста (2 июля)
сосны скрученной (СС) и сосны обыкновенной (СО)

Происхождение	Годичный прирост	Темп прироста	Начало роста	Окончание роста
Нарлинге (СС)	303	11.8	0.103	0.926
Оппала (СС)	329	11.6	0.099	0.903
Скорсерум (СС)	291	11.3	0.119	0.925
Ларслунд (СС)	333	11.4	0.110	0.894
Румхулт (СС)	315	11.1	0.084	0.895
Остерби (СС)	320	11.1	0.088	0.860
Сыктывкар (СО)	215	9.5	0.069	0.965

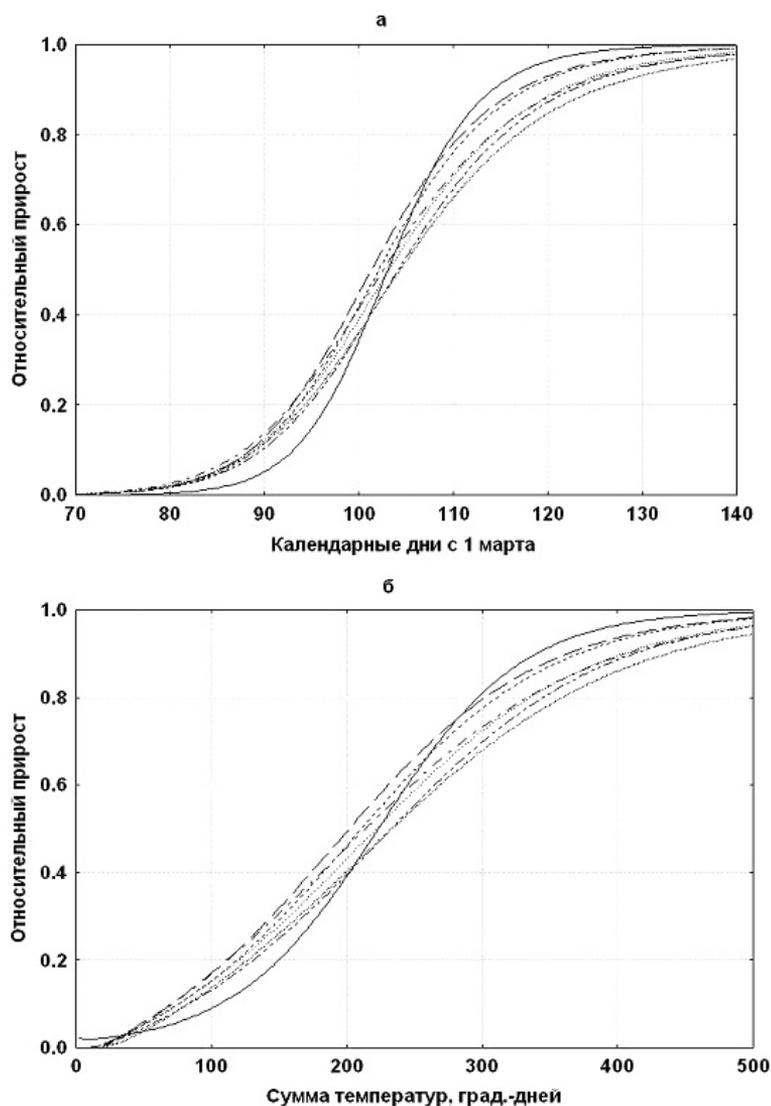


Рис. 3.2. Относительный прирост растений различных происхождений сосны скрученной и сосны обыкновенной (----- Нарлинге, Оппала, — — — Скорсерум, - - - - Ларслунд, — — — Румхулт, Остерби, ————— Сыктывкар) в связи с числом календарных дней (а) и суммой температур (б).

роста привело к повреждению растений южных происхождений, особенно Румхулт и Остерби низкими температурами в конце зимы–начале весны 2010 г., при этом растения северных происхождений сосны скрученной, мало отличающиеся от сосны обыкновенной по окончанию роста, не были повреждены.

3.2. Жизненное состояние и рост в высоту растений сосны скрученной

Исследование экспериментальных плантаций в Ухтинском, Сторожевском и Койгородском лесничествах проведено осенью 2011 г. Жизненное состояние растений оценивалось по следующей шкале: 1 класс – здоровое растение, почки здоровые, ствол прямой; 2 – слабо поврежденное растение, состояние хорошее, имеются незначительные повреждения хвои, верхушечная и боковые почки здоровые, ствол прямой; 3 – сильно поврежденное растение, состояние плохое, около 30% хвои повреждено, верхушечная почка повреждена или погибла, рост замедлен; 4 – погибшее растение. Сохранность – это доля выживших растений. Высота измерялась у всех выживших растений.

Хотя жизненное состояние оценивалось по балльной шкале, распределение средних деляночных значений близко к нормальному распределению. Дисперсионный анализ средних деляночных значений класса повреждения/высоты был проведен с использованием модели:

$$y_{ijk} = \mu + T_i + P_j + (TP)_{ijk} + e_{ijk},$$

где y_{ijk} – среднее деляночное значение класса повреждения/высоты на i -м участке j -го происхождения в блоке k ; μ – среднее значение класса повреждения/высоты для всех участков; T_i – эффект участка, $i = 1...3$; P_j – эффект происхождения, $j = 1...7$; $(TP)_{ijk}$ – эффект взаимодействия участок \times происхождение; e_{ijk} – ошибка опыта.

Для оценки зависимостей между переменными использовался регрессионный анализ. Сохранность растений на плантациях составила 77, 76 и 71% в Ухте, Сторожевске и Койгородке соответственно. Расположение участка, происхождение и их взаимодействие статистически значимо ($p < 0.001$) влияли на жизненное состояние и высоту растений (табл. 3.5). Несколько удивительно, но в целом жизненное состояние растений было немного лучше на самом северном участке (Ухта), по сравнению с более южными (Сторожевск и Койгородок), а по средней высоте на первом месте была сосна скрученная в Сторожевске (табл. 3.6). В целом жизненное состояние сосны обыкновенной было лучше, чем сосны скрученной, но эти различия были статистически значимы только для южных происхождений Ларслунд, Румхулт и Остерби (табл. 3.6). Это хорошо согласуется с данными, полученными в серии экспериментальных культур, заложенных в Финляндии, где сохранность растений сосны скрученной была на 14% ниже по сравнению с сосной обыкновенной в возрасте 13-14 лет (Varmola et al., 2000). Что касается роста в высоту, то сосна скрученная обгоняла сосну обыкновенную на 6-21%, за исключением самых

Таблица 3.5

Дисперсионный анализ жизненного состояния и роста в высоту сосны обыкновенной и сосны скрученной на экспериментальных плантациях

Источник варьирования	Число степеней свободы	Средний квадрат	F-критерий	p-значение
Жизненное состояние				
Участок	2	1.978	9.75	0.001
Происхождение	6	2.822	28.36	0.000
Участок \times Происхождение	12	0.680	6.83	0.000
Высота				
Участок	2	10400	25.44	0.000
Происхождение	6	5540	9.27	0.000
Участок \times Происхождение	12	1855	310	0.001

Таблица 3.6

**Жизненное состояние (класс) и высота растений (см)
сосны скрученной и сосны обыкновенной (с 95%-ными доверительными интервалами)**

Источник варьирования	Жизненное состояние			Высота		
	Среднее значение	-95%	+95%	Среднее значение	-95%	+95%
	Участок					
Ухта	2.49	2.37	2.61	128	119	138
Сторожевск	2.55	2.45	2.65	169	162	176
Койгородок	2.76	2.66	2.85	97	89	105
	Происхождение					
Нарлинге	2.38	2.23	2.53	147	130	165
Оппала	2.35	2.23	2.47	151	132	170
Скорсерум	2.53	2.41	2.64	139	122	156
Ларслунд	2.63	2.51	2.75	132	114	150
Румхулт	2.93	2.84	3.03	120	107	133
Остерби	3.11	2.99	3.24	112	98	126
Сыктывкар	2.23	2.01	2.44	125	110	140

южных происхождений Румхулт и Остерби, у которых средняя высота была на 4-10% ниже, чем у сосны обыкновенной вследствие обмерзания верхушечных побегов (табл. 3.6).

Установлена зависимость между географической широтой района расположения материнских деревьев в Канаде и жизненным состоянием растений на плантациях. Жизненное состояние растений северных происхождений лучше, средний класс повреждения повышается на 0.080 с продвижением на один градус широты на юг (рис. 3.3).

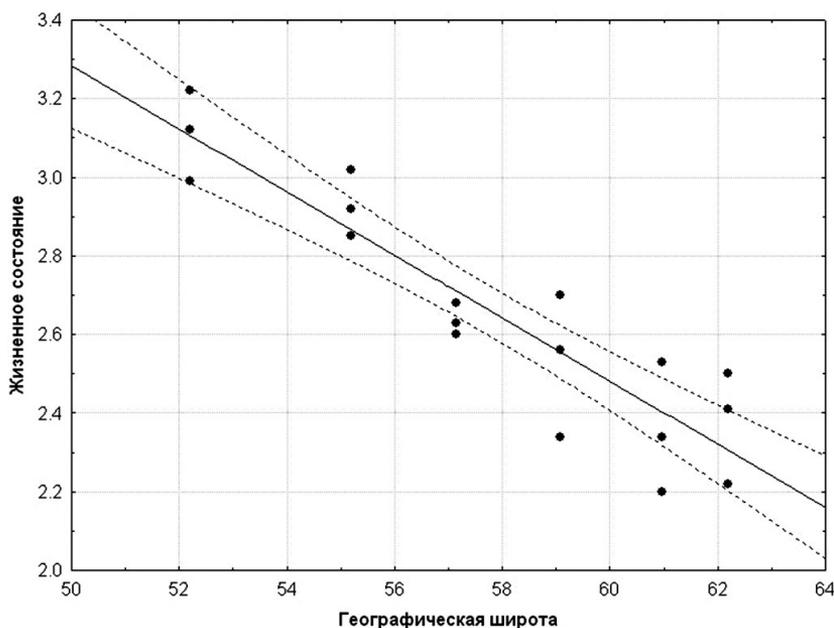


Рис. 3.3. Зависимость жизненного состояния сосны скрученной на трех экспериментальных плантациях от географической широты района происхождения материнских деревьев в Северной Америке ($Y = 7.293 - 0.080X$; $r = -0.916$; $p < 0.000$. Пунктирными линиями показаны 95% доверительные интервалы).

Созданная в Республике Коми серия экспериментальных плантаций дала хорошую возможность оценить жизненное состояние и рост растений сосны скрученной в 8-летнем возрасте, когда высота растений уже превышает среднюю высоту снежного покрова, и они подвергаются значительным колебаниям температур, особенно в конце зимнего периода. Повреждение побегов сосны скрученной низкими температурами привело к ухудшению жизненного состояния растений и связано с более поздним прекращением роста и вхождением в покой (рис. 3.4). На самой южной в данной серии экспериментальной плантации (Жойгородок), заложенной на сухой, хорошо прогреваемой песчаной почве, корневые системы части растений были повреждены личинками майского хруща (*Melolontha hippocastani*). Кроме того, побеги у части растений были также повреждены побеговым смолевщиком (*Petrova resinella*).

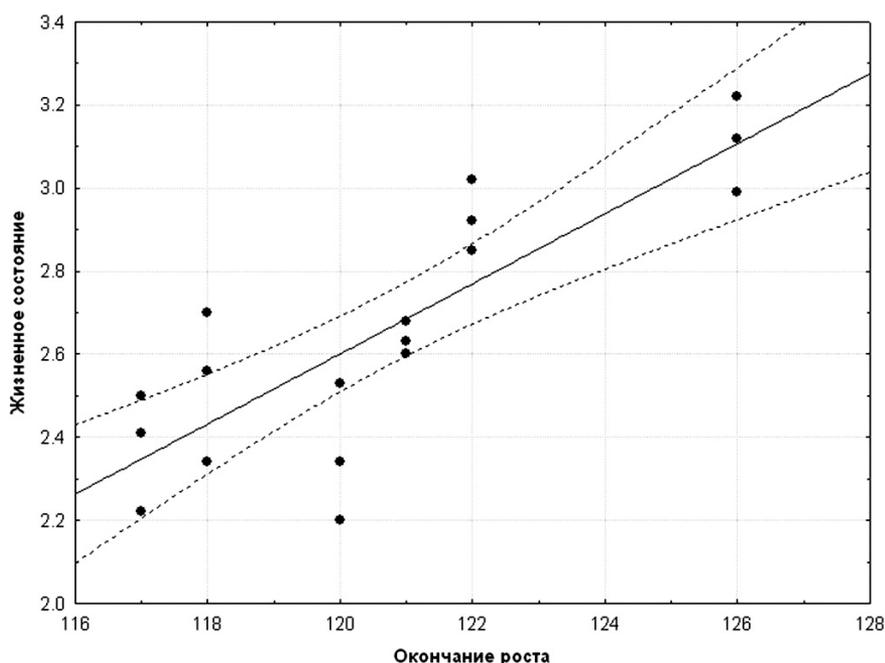


Рис. 3.4. Зависимость жизненного состояния сосны скрученной на трёх экспериментальных плантациях от дня окончания роста с 1 марта ($Y = -7.5237 + 0.0844X$; $r = 0.828$; $p = 0.000$. Пунктирными линиями показаны 95%-ные доверительные интервалы).

Таким образом, успех выращивания сосны скрученной в Республике Коми зависит в значительной степени от происхождения материала и для окончательных выводов необходимы более длительные наблюдения за жизненным состоянием, ростом и качеством стволов этой древесной породы на экспериментальных плантациях.

Глава 4. ПРОГНОЗ ДИНАМИКИ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ ООПТ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ КЛИМАТА (метод математического моделирования)

В последние десятилетия начались интенсивные работы по прогнозам динамики пулов органического вещества в лесных экосистемах с помощью математических моделей (Kellomäki, Kolström, 1994; Larocque et al., 2009; Liu et al., 2009 и др.), в том числе и в России (Chertov et al., 2002; Mikhailov et al., 2004; Verkerk et al., 2006; Моделирование динамики..., 2007; Замолодчиков и др., 2008; Shanin et al., 2011).

Для прогноза динамики лесных экосистем при изменениях климата мы использовали разработанную ранее систему математических моделей EFIMOD (Komarov et al., 2003; Chertov et al., 2003), описывающую круговорот углерода и азота в лесных экосистемах. Данная система моделей была адаптирована для работы в пакетном режиме (Шанин и др., 2010; Komarov, Shanin, 2012; Shanin et al., 2011, 2013), позволяющем прогнозировать динамику баланса углерода на больших территориях с использованием стандартных лесотаксационных данных.

Был проведен компьютерный имитационный эксперимент для двух лесных территорий (заказники «Ляльский» и «Белый» в Республике Коми) по двум лесохозяйственным и двум климатическим сценариям (стационарный климат и возможное потепление). Результаты моделирования анализировались по нескольким ведущим переменным (запасы углерода в древостое, сухостое, валеже и почве; эмиссия углекислого газа; чистая первичная продукция; видовой состав древостоев). Сравнение результатов при разных сценариях позволило выявить основные тенденции изменения балансов углерода и азота в лесных экосистемах при возможных климатических изменениях.

4.1. Система моделей EFIMOD

Краткое описание назначения функциональных особенностей моделей. Особенностью структуры системы моделей EFIMOD является рассмотрение смешанного древостоя как ансамбля отдельных взаимодействующих деревьев разных пород с точными пространственными позициями внутри древостоя. Взаимодействие в этом случае определяется взаимным пространственным размещением деревьев. Такой подход предполагает значительную роль определения характера локального взаимодействия между деревьями и их ближайшими соседями и правил перераспределения непрерывно распределенных ресурсов, таких как температура, свет, почвенная влага и минеральное питание. Мы предположили, что модель роста отдельного дерева должна быть максимально простой, не затрагивающей всю сложную взаимосвязь процессов на физиологическом уровне, а ведущие переменные будут выражаться че-

рез статистические характеристики древостоя, состоящего из таких простых компонентов. При этом важнейшим ограничением, определяющим структуру модели, является использование после ее калибровки только имеющихся стандартных данных лесной таксации, а также почвенных и метеорологических характеристик.

Формулировка модели продуктивности. Основная версия модели основана на следующих допущениях:

– это индивидуально-ориентированная модель с точными позициями деревьев, которые расположены на плоской квадратной решетке, в которой клетки достаточно малы, чтобы содержать более одного дерева; такое задание позволяет легко определить для каждого дерева соседние деревья, затенение и зоны питания;

– каждое дерево состоит из пяти компонентов (ствол, ветви, листья/хвоя, толстые корни, тонкие корни) и обладает своей собственной зоной питания, зависящей от возраста;

– каждое дерево взаимодействует с множеством ближайших деревьев посредством а) затенения и б) корневой конкуренции за доступный азот из почвы; прирост дерева определяется ресурсом, находящимся в дефиците (поглощенная радиация или доступный азот);

– модель описывает круговорот углерода и азота в системе «древостой-почва», включая динамику пулов органического вещества лесной подстилки и минеральной почвы;

– вследствие стохастического характера входных погодных характеристик, участвующих в модели, а также случайности начального размещения деревьев в начале моделирования предусмотрена возможность оценки выходных параметров методом Монте-Карло (Ермаков, Михайлов, 1976);

– модель позволяет использовать в качестве входных характеристик данные лесной таксации.

Существенной особенностью является совместное рассмотрение динамики древостоя и пулов органического вещества в почве. С точки зрения описания биологического круговорота элементов на промежутке времени порядка длительности жизни древесных видов процессы, происходящие в почве, оказываются определяющими для существования и самоподдержания лесной экосистемы. Если растительность осуществляет продукционные процессы, ведущие к закреплению в системе углерода и азота, то почва оказывается системным буфером, повышающим общую устойчивость системы за счет накопленного пула элементов питания, обеспечивающего питание древостоя и компенсирующего флуктуации окружающей среды.

Способ простого описания роста дерева с помощью экологических характеристик, которые описывают взаимоотношения между деревом и почвой, стал возможным на основе данных по биологической продуктивности и эколого-физиологическим характеристикам растений.

Наиболее важными характеристиками являются следующие:

1. Биологическая продуктивность листвы/хвои, α_{max} , грамм биологической продуктивности (прирост биомассы) на грамм листвы/хвои в год.

2. Удельное потребление элементов почвенного питания n_p (грамм элемента, необходимый для продукции грамма прироста в год).

3. Правило перераспределения полного прироста биомассы дерева в приросты его компонентов – ствола, хвои, листвы, ветвей, толстых корней и тонких корней – зависящее от этапа развития дерева. Мы выделяем молодые

(прегенеративные), взрослые (генеративные) и старые (постгенеративные) деревья.

4. Доли ежегодных опадов компонентов дерева, поступающие на почву.

Потенциальный годичный прирост отдельного дерева определяется как максимально возможный для данного местообитания прирост, который может быть произведен единицей массы хвои/листвы. Затем он редуцируется в зависимости от освещенности данного дерева или количества доступного азота, собранного с его площади питания. Выбор производится по принципу Либиха, т.е. выбирается минимально возможный прирост либо по свету, либо по обеспеченности азотом и затем он перераспределяется между частями дерева.

Опад различных частей дерева поступает на почву, и его дальнейшая динамика описывается моделью динамики органического вещества почвы ROMUL, которая учитывает процессы минерализации и гумификации опада, в том числе эмиссию углекислого газа из почвы, и динамику азотного питания. ROMUL использует среднемесячные значения температуры и влажности лесной подстилки и минеральной почвы, которые имитируются генератором почвенного климата SCLISS (Быховец, Комаров, 2002).

Если отношение листвы/хвои к полной биомассе дерева становится ниже определенного предела, то дерево отмирает, при этом все его составляющие поступают в/на почву. По полной биомассе вычисляются дендрометрические характеристики дерева: высота, диаметр, запас стволовой древесины. При этом учитываются некоторые адаптационные механизмы: при лимитировании по свету высота ствола имеет больший прирост, чем при лимитировании по азоту, при котором больше прирастает диаметр; при разном лимитировании корректируется также прирост листвы/хвои и тонких корней.

Простота балансового описания роста дерева компенсируется сложностью описания взаимодействия между соседними деревьями. В модели потенциальный прирост биомассы редуцируется в зависимости от освещенности дерева или обеспеченностью его азотом из почвы. Мы ограничились упрощенным вычислением меры редукции освещенности, близким по построению к общепринятым моделям (Shugart, 1984). Эта мера различается для светолюбивых и теневыносливых видов. Каждое дерево обладает своей собственной зоной питания, зависящей от возраста. В древостое зоны питания перекрываются, в перекрытиях поступление доступного растениям азота почвы распределяется пропорционально долям тонких корней самого дерева и его соседей.

Подмодель динамики органического вещества почвы ROMUL. Базовая модель динамики органического вещества почвы ROMUL (Chertov et al., 2001) учитывает: (1) минерализацию и гумификацию опада, (2) минерализацию гумифицированной лесной подстилки, (3) высвобождение элементов питания в ходе этих процессов и (4) гетеротрофную эмиссию диоксида углерода из почвы (рис. 4.1).

В модель в качестве одной из ведущих переменных введено понятие комплекса гумусовых веществ с неразложившимися растительными остатками (КГВ). Предполагается, что этот комплекс представляет собой подгоризонт лесной подстилки F. В модель также включен пул стабильного гумуса H, минерализующегося со своей скоростью.

Главные черты подмодели ROMUL:

1. В основе лежит предположение о последовательной смене комплексов организмов-деструкторов в процессе разложения органического вещества почвы в соответствии с существующей в лесном почвоведении концепцией типов гумуса («грубый гумус», «модер», «мюль» (Duchaufour, 1961).

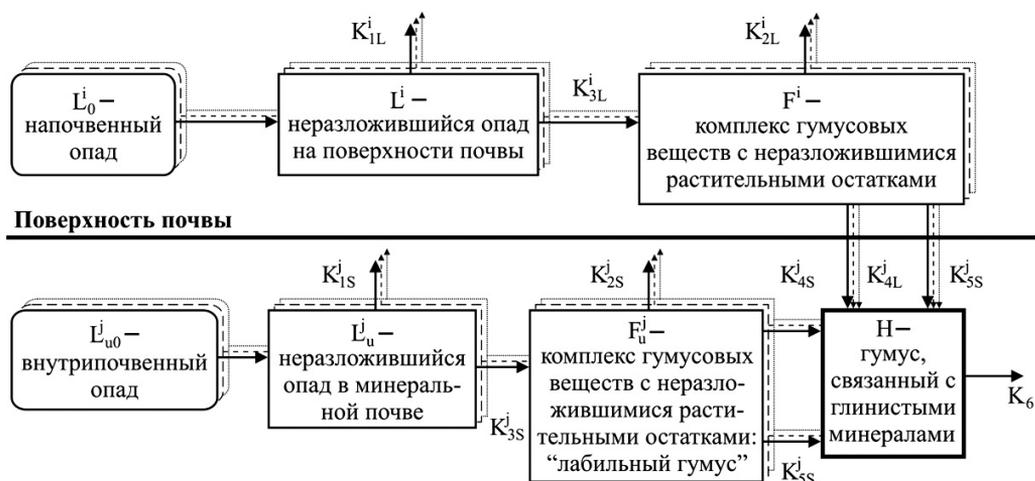


Рис. 4.1. Блок-схема подмодели ROMUL (по Chertov et al., 2001).

2. Биомасса почвенных организмов является пренебрежительно малой по сравнению с общей массой органического вещества почвы и имеет высокую скорость разложения; она не рассматривается в качестве отдельного пула.

3. Количество и видовой состав организмов-разлагателей зависят от биохимических свойств органических остатков и гидротермических условий. Таким образом, возможен расчет коэффициентов минерализации как функций от биохимических свойств опада, температуры и влажности. Органические остатки разделяются на две основные группы: (1) надземный опад, скорость разложения которого зависит от температуры и влажности подстилки, и (2) подземный (корневой) опад, скорость разложения которого зависит от почвенной температуры и влажности.

4. Кинетика азота в органических горизонтах учитывает высокую скорость усвоения азота почвенными микроорганизмами, в результате чего скорость минерализации азота значительно ниже, чем у углерода.

5. Сообщества *Bacteria* и *Arthropoda* производят гумус с соотношением C/N, равным 15; сообщество *Lumbricidae* формирует гумус с соотношением C/N, равным 8. Комплексы этих организмов тратят 20% азота, содержащегося в комплексе гумусовых веществ, на построение своей биомассы, а остальные 80% азота уходят на образование гумуса. В силу малой продолжительности онтогенеза *Arthropoda* и *Lumbricidae* питательные вещества полностью минерализуются и становятся доступными для растений в течение одного года. Для получения этих параметров использовались данные по годовой трансформации опада (Биологическая продуктивность..., 1974), биомассе почвенной фауны и ее круговороте (Чернова и др., 1975; Стриганова и др., 1987; Dindal, 1990; Edwards, Bohlen, 1996).

Выщелачивание и диффузия органического вещества почвы, выпадение азота из атмосферы, азотфиксация и денитрификация не учитываются в базовом модуле ROMUL.

Блок-схема подмодели ROMUL приведена на рис. 4.1.

В соответствии с этими постулатами кинетика разложения опада и трансформации гумуса может быть выражена в виде системы линейных дифферен-

циальных уравнений первого порядка с переменными коэффициентами. Аналогичная система уравнений написана для азота в органическом веществе почвы. В модели в качестве входных данных используются среднемесячные температура и влажность органических и минеральных горизонтов, а также зольность и содержание азота в различных порциях опада, начальное количество органического вещества почвы. Выходные данные включают месячную динамику органического вещества и азота в горизонтах L, F, H, отношение C/N в гумусе, эмиссию углекислого газа и количество высвобожденных вследствие минерализации соединений азота.

Статистический генератор почвенного климата SCLISS. Входными параметрами для почвенной модели являются гидротермические условия в подстилке и почве. Поиск подобных данных зачастую затруднен, поэтому был разработан статистический генератор климата SCLISS, основанный на ряде предположений, вытекающих из анализа климатологической литературы и детально описанный в литературе (Быховец, Комаров, 2002).

Как правило, измеренные данные по температуре почвы в лесу, необходимые для оценки параметров модели, отсутствуют, поэтому сначала по температуре воздуха с помощью описанной модели оценивается температура почвы под «стандартной» травяной поверхностью, а затем с учетом разности температур в лесу и травянистых местообитаниях – температура почвы в лесу.

За основу модели влажности подстилки и минеральной почвы принят широко известный комплексный метод определения испарения (Будыко, 1956; Зубенок, 1976), основанный на сопряженном расчете составляющих водного баланса и их зависимости от влажности почвы.

В зимний период влажность почвы считается постоянной. Осадки (минус испарение, равное испаряемости) в этот период накапливаются (по существу, это оценка влагозапаса в снежном покрове) и поступают в почву в первый месяц с положительной температурой (вместе с осадками за данный месяц). В модели используется простой метод оценки испаряемости по температуре воздуха – формула Блейни и Кридла (Blaney, Criddle, 1950).

Влажность подстилки существенно более изменчива, чем влажность минеральной почвы, и в рамках подобной модели может быть оценена лишь ориентировочно. Так, из данных Л.А. Верхоланцевой (1972, 1977) следует, что в условиях северной тайги весовая влажность подстилки примерно в 5-15 раз превышает влажность минеральных горизонтов почвы. В первом приближении это отношение принималось равным 10.

4.2. Параметризация модели

Параметризация характеристик почвы. Поскольку в таксационных данных характеристики почвы не приводятся, они оцениваются по двум параметрам: типу лесорастительных условий и доминирующему виду с использованием региональных баз данных и экспертных оценок (Chertov et al., 2002; Честных и др., 2004; Chertov et al., 2006).

Основными переменными модели ROMUL являются характеристики пулов свежего опада, гумуса органических горизонтов и гумуса минеральных горизонтов почвы, а именно содержание в них органического вещества и азота. Следует особо отметить, что речь идет именно о пулах органического вещества, а не об аналитически определяемом углероде.

Таблица 4.1

Начальные значения запасов органического вещества почвы и азота (кг м⁻²), использованные для параметризации подмодели ROMUL, в зависимости от типа лесорастительных условий и доминанта древостоя

Тип леса	Доминант древостоя	Подстилка	Азот в подстилке	Лабильный гумус	Азот в лабильном гумусе	Гумус	Азот в гумусе
Брусничный	Береза	1.89	0.031	0.21	0.0034	6.40	0.28
Брусничный	Сосна	1.37	0.022	0.74	0.012	6.40	0.28
Брусничный	Ель	1.47	0.024	0.63	0.010	6.40	0.28
Долгомошный	Береза	4.51	0.12	0.50	0.013	6.96	0.45
Долгомошный	Сосна	3.26	0.086	1.75	0.046	6.96	0.45
Долгомошный	Ель	3.51	0.093	1.50	0.040	6.96	0.45
Кисличный	Осина	0.91	0.022	0.11	0.0024	10.30	0.57
Кисличный	Береза	0.91	0.022	0.11	0.0024	10.30	0.57
Кисличный	Сосна	0.66	0.016	0.35	0.0084	10.30	0.57
Кисличный	Ель	0.71	0.017	0.31	0.0072	10.30	0.57
Лишайниковый	Сосна	0.45	0.0088	0.24	0.0047	3.84	0.21
Осоково-сфагновый	Береза	5.63	0.099	0.63	0.011	8.28	0.35
Осоково-сфагновый	Сосна	4.06	0.071	2.19	0.038	8.28	0.35
Осоково-сфагновый	Ель	4.38	0.077	1.88	0.033	8.28	0.35
Сфагновый	Береза	5.63	0.099	0.63	0.011	8.28	0.35
Сфагновый	Сосна	4.06	0.071	2.19	0.038	8.28	0.35
Сфагновый	Ель	4.38	0.077	1.88	0.033	8.28	0.35
Травяно-сфагновый	Береза	5.63	0.099	0.63	0.011	8.28	0.35
Травяно-сфагновый	Сосна	4.06	0.071	2.19	0.038	8.28	0.35
Травяно-сфагновый	Ель	4.38	0.077	1.88	0.033	8.28	0.35
Черничный	Осина	2.66	0.038	0.29	0.0042	9.32	0.53
Черничный	Береза	2.66	0.038	0.29	0.0042	9.32	0.53
Черничный	Сосна	1.92	0.027	1.03	0.015	9.32	0.53
Черничный	Ель	2.068	0.029	0.89	0.012	9.32	0.53

Если известны объемная плотность горизонта почвы D_v и его мощность Z , тогда количество органического вещества (ОрВП) в горизонте на единицу площади может быть легко вычислено по формуле (4.1).

$$SOM = D_v \cdot Z \cdot S, \quad (4.1)$$

где S – единица площади (например, м²).

Пул азота органического горизонта вычисляется по полученным данным для ОрВП и концентрации азота в соответствующем горизонте.

Вычисленное значение пула ОрВП в минеральных горизонтах необходимо рассматривать как сумму лабильной и стабильной фракций гумуса. Для инициализации модели необходимо разделить суммарный пул ОрВП на эти две фракции.

По умолчанию в модели предполагается, что лабильная фракция составляет 0.4 от всего органического вещества минеральных горизонтов. В естественных почвах во всех климатических зонах эта доля колеблется между 0.5 и 0.2 (в богатых гумусом почвах избыточного увлажнения эта доля может быть даже выше, например, в темноцветных, перегнойных и луговых глеевых почвах).

Начальные значения запасов ОрВП и азота, использованные для параметризации модели, приведены в табл. 4.1.

Преобразование материалов лесоустройства во входные данные модели. В качестве исходных данных использовались повыдельные материалы лесоустройства, объединенные в базу данных. В таких базах приводятся как данные, характеризующие выдел в целом, так и данные по отдельным элемен-

там леса. Под элементами леса понимаются разновозрастные когорты деревьев одного вида, характеризующиеся сходными параметрами: возрастом, средней высотой и средним диаметром на уровне груди.

Лесоустроительными данными, характеризующими выдел в целом, являются: формула, доминант и относительная полнота древостоя, запас выдела, класс бонитета и тип лесорастительных условий; к характеристикам отдельных элементов леса относятся: возраст, средняя высота и средний диаметр на высоте груди, число деревьев на 1 га.

Для моделирования необходимы следующие входные параметры: видовой состав древостоя на участке, средняя высота деревьев, средний диаметр ствола на уровне груди, число деревьев на гектар, их возраст, характеристики пулов органического вещества почвы (Komarov et al., 2003).

Верификация и анализ чувствительности модели. Верификация модели проводилась по данным лесоустройства. Для увеличения общего количества наблюдений были взяты материалы лесоустройства не только для изучаемых территорий, но и для Железнодорожного лесничества. Были выбраны выделы с наиболее распространенными на данной территории видами-доминантами и наиболее характерным для данного вида типом лесорастительных условий по Воробьеву-Погребняку, и на основе материалов лесоустройства получены точечные диаграммы, иллюстрирующие зависимость высоты и диаметра деревьев от возраста. В силу большого количества выделов для каждого из рассматриваемых видов было получено от 500 до 3 тыс. измерений.

Далее проводился имитационный эксперимент с использованием метода Монте-Карло (Komarov et al., 2003), с варьированием начальных данных по почве со стандартным отклонением в 20% от среднего значения. Начальные данные по почве выбирались с учетом типа лесорастительных условий на участке, начальные данные по древостою – из таблиц хода роста для соответствующей породы и класса бонитета (Швиденко и др., 2008).

Результаты моделирования приведены на рис. 4.2. Из них следует, что модель EFIMOD дает результаты, вполне удовлетворительно соответствующие экспериментальным данным.

4.3. Имитационные сценарии

Для оценки влияния типа ведения лесного хозяйства на лесные экосистемы были подготовлены два имитационных сценария.

Сценарий NAT_. Этот сценарий имитирует естественное развитие леса при отсутствии внешних воздействий. Возникновение подроста под пологом леса имитируется из расчета 1 тыс. деревьев на 1 га и происходит каждые 15 лет.

Сценарий FIR_. Данный сценарий предполагает развитие экосистемы без рубок, но с учетом возможных лесных пожаров. Частота пожаров имитировалась с учетом ежегодных данных по территориям, подвергающимся лесным пожарам. Имитировалась следующая интенсивность пожаров (процент сгорания соответствующего пула углерода): листва – 10%, ветви – 5, стволы – 5, тонкие корни – 25, лесная подстилка – 100, органические горизонты почвы – 25% (в соответствии с Kurz, Apps, 1999), с 25%-ным варьированием этих параметров. При этом предполагается, что несгоревшие части деревьев остаются на участке и далее вовлекаются в процесс разложения.

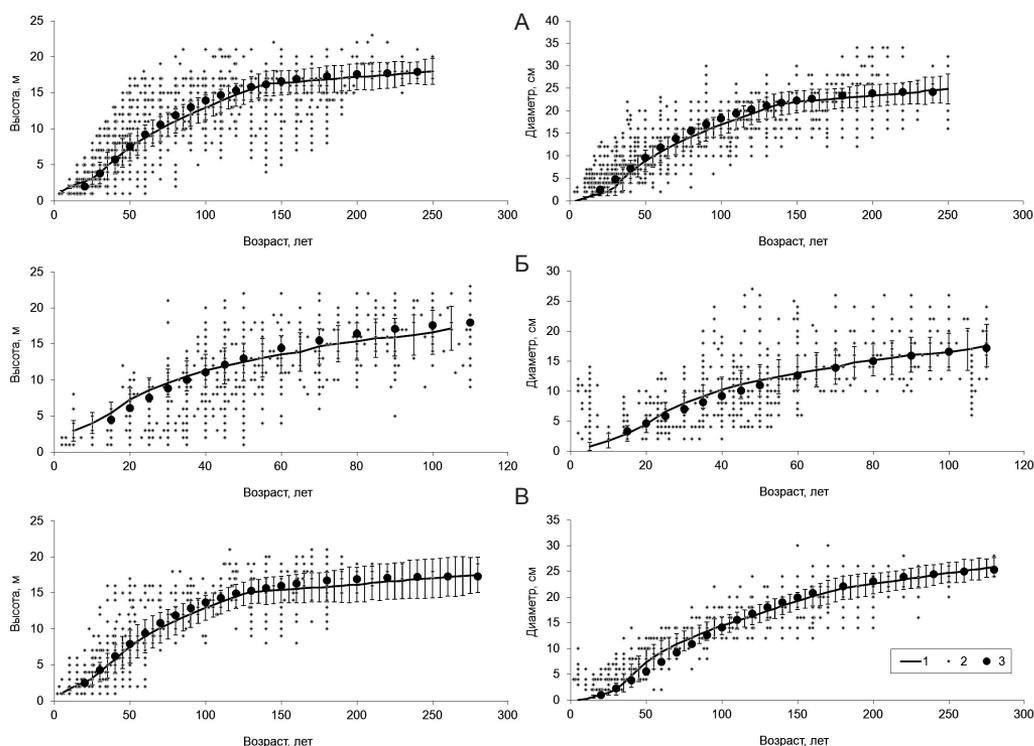


Рис. 4.2. Сравнение между измеренными данными по росту и диаметру (на основе таксационных описаний и таблиц хода роста) с результатами имитационных экспериментов. Железнодорожное лесничество: А – ель, ТЛУ В4, класс бонитета V; Б – еереза, ТЛУ С 3, класс бонитета IV; В – сосна А5, ТЛУ, класс бонитета V (1 – результаты моделирования (с доверительным интервалом), 2 – данные таксационных описаний, 3 – данные региональных таблиц хода роста).

Видовой состав подроста определялся на основе типа леса по Сукачеву и доминанта древостоя – на основе данных К.С. Бобковой (Биопродукционный процесс..., 2001; Коренные еловые леса..., 2006) и экспертных оценок М.В. Бобровского (табл. 4.2).

Климатические сценарии. Одной из задач, поставленных в данной работе, является оценка влияния на лесные экосистемы изменений климата.

Неоднократно отмечалось (Груза и др., 2001; Климат..., 2001) возрастание в последние десятилетия глобальной температуры, причем наиболее заметный рост отмечается для умеренных и высоких широт. Повышение температуры с 1961 по 1993 г. составляет, например, на Северо-Западе европейской части России около $0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ в 10 лет. Природа изменений климата не до конца выяснена; большинство авторов связывает современное потепление с увеличением содержания в атмосфере парниковых газов, прежде всего, двуокиси углерода.

В настоящее время используются четыре группы сценариев эмиссии парниковых газов, которые были предложены в Специальном докладе по сценариям выбросов (IPCC, 2000).

Для создания имитационных сценариев в нашей работе, учитывающих предполагаемые изменения климата, использованы ряды температуры воздуха и атмосферных осадков за XX в., интерполированных в узлы сетки $0.5 \times 0.5^{\circ}$

Таблица 4.2
**Видовой состав подроста
 в зависимости от ТЛУ
 и доминанта древостоя
 (для Железнодорожного лесничества)**

Тип леса	Доли разных видов деревьев, %			
	Сосна	Ель	Береза	Осина
Доминант древостоя – ель				
Лишайниковый	15	70	15	0
Брусничный	10	80	10	0
Кисличный	0	80	10	10
Черничный	0	85	10	5
Долгомошный	5	75	20	0
Сфагновый	10	60	30	0
Доминант древостоя – сосна				
Лишайниковый	50	20	30	0
Брусничный	30	50	20	
Кисличный	0	80	10	10
Черничный	5	80	10	5
Долгомошный	10	70	20	0
Сфагновый	50	20	30	0
Доминант древостоя – береза				
Лишайниковый	20	50	30	0
Брусничный	10	70	20	0
Кисличный	0	75	15	10
Черничный		80	15	5
Долгомошный	5	70	25	0
Сфагновый	20	30	50	0
Доминант древостоя – осина				
Лишайниковый	15	60	20	5
Брусничный	10	65	15	10
Кисличный	0	75	10	15
Черничный	0	75	15	10
Долгомошный	5	70	20	5
Сфагновый	20	40	40	0
На вырубках				
Лишайниковый	55	5	40	0
Брусничный	40	5	55	0
Кисличный	0	15	60	25
Черничный	0	10	70	15
Долгомошный	5	10	80	5
Сфагновый	10	5	85	0
После пожара				
Лишайниковый	60	0	40	0
Брусничный	45	0	55	0
Кисличный	5	0	70	25
Черничный	10	0	75	15
Долгомошный	10	0	85	5
Сфагновый	15	0	85	0

(CRU TS 2.0), и сценарии изменений глобального климата в XXI в. (TYN SC 2.0), рассчитанные для той же сетки (Mitchell et al., 2004).

Использован наиболее «экстремальный» вариант потепления, основанный на сценарии эмиссии парниковых газов A1Fi и модели общей циркуляции атмосферы HadCM3, чтобы продемонстрировать максимальный диапазон возможных климатических условий. Для оценки максимально возможного диапазона изменений в параметрах экосистем в течение XXI в. использовались два климатических сценария: «экстремальное изменение климата» (_C) и «стационарный климат» (_S).

В качестве «экстремального» сценария (_C) для 2001-2100 гг. использован сценарий из TYN SC 2.0, основанный на модели HadCM3, и сценарии эмиссии парниковых газов A1Fi. В соответствии с этим сценарием температура воздуха до конца XXI в. должна вырасти на 7.2 °C. Изменение осадков не столь существенно, годовая сумма увеличивается на 8%, главным образом, за счет роста осадков в зимние месяцы. В рамках данной работы был важен не точный количественный прогноз, а качественное поведение экосистемы при изменении климата, влияние потепления на основные потоки углерода.

«Стационарный» сценарий (_S) получен в предположении, что в течение XXI в. сохранятся климатические условия второй половины XX в. Основные характеристики климатических сценариев для разных объектов приведены в табл. 4.3.

4.4. Результаты и обсуждение

Поскольку для всех сценариев в каждом местообитании были использованы одинаковые начальные данные, то при проведении численных экспериментов баланс углерода в лес-

Таблица 4.3

Климатические данные для узла сетки с координатами 62°45' с.ш., 51°45' в.д.
(Железнодорожное лесничество) за период 1961-1990 гг.
и предполагаемые на конец XXI столетия в соответствии с «экстремальным» сценарием
изменения климата (модель глобальной циркуляции HadCM3
и сценарий эмиссии A1Fi) (Mitchell et al., 2004)

Показатели	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Средние значения за 1961-1990 гг.													
Температура воздуха, °С	-17.5	-14.6	-7	-0.1	7	13.3	16.8	13.3	7.6	-0.1	-7.2	-13.1	-0.1
Осадки, мм	36	27	28	35	45	59	75	67	60	61	50	43	585
Предполагаемые средние для 2071-2100 гг.													
Температура воздуха, °С	-6.2	-7.6	-1.5	4.8	13.6	18.8	24.5	19.9	14.4	6.4	1.5	-0.9	7.3
Изменение, °С	11.3	7.0	5.5	4.9	6.6	5.5	7.7	6.6	6.8	6.5	8.7	12.2	7.4
Осадки, мм	59	35	29	43	54	77	81	67	66	73	70	66	720
Изменение, мм	23	8	1	8	9	18	6	0	6	13	20	23	135
%	63	29	5	23	21	31	8	-1	10	21	40	55	23

ной экосистеме определялся применяемым имитационным сценарием. Это позволило провести сравнительный анализ и оценку влияния на динамику запасов углерода в лесных экосистемах различных экзогенных воздействий.

Динамика основных пулов углерода. В сценарии NAT_S (без воздействий, стационарный климат) запас углерода в древостое постоянно увеличивается (рис. 4.3, 4.4), достигая к концу периода моделирования значений порядка 70 т С га⁻¹ для всех изучаемых территорий при доверительном интервале порядка 6.1%. Рост запаса обусловлен накоплением углерода в биомассе растущих деревьев, он более заметен в случае заказника «Ляльский», для которого характерна более высокая, чем у заказника «Белый», доля молодых и средневозрастных древостоев и, соответственно, более высокий потенциал к аккумуляции углерода в фитомассе.

В случае же изменений климата (сценарий NAT_C), которые выражаются в повышении среднемесячных температур и увеличении количества осадков, накопление углерода в древостое идет более интенсивно, достигая, в конечном итоге, значений порядка 80 т С га⁻¹.

Поскольку территория заказника «Ляльский» представлена исключительно местообитаниями с избыточным увлажнением, развитие на ней пожара представляется крайне маловероятным. В связи с этим сценарии, имитирующие лесные пожары (FIR_S и FIR_C), анализировались только при моделировании динамики лесных экосистем на территории заказника «Белый».

В сценарии FIR_S (с лесными пожарами при стационарном климате) также наблюдается увеличение запаса углерода в древостое, но данный прирост заметно меньше, чем в предыдущем сценарии – максимальная величина запаса достигает примерно 62 т С га⁻¹ (рис. 4.4). Относительный прирост запаса углерода в древостое при изменении климата (сценарий FIR_C), по сравнению со стационарным, немного меньше, чем в случае со сценарием без воздействий, поскольку увеличенная продуктивность древостоев частично нивелируется ростом потерь вследствие повышения интенсивности лесных пожаров. Однако увеличение продуктивности в случае климатических изменений превосходит потери углерода вследствие пожаров.

Запас углерода в почве для территории заказника «Белый» в сценарии NAT_S увеличивается с 50 до 56 т С га⁻¹ (рис. 4.5). Накопление углерода в поч-

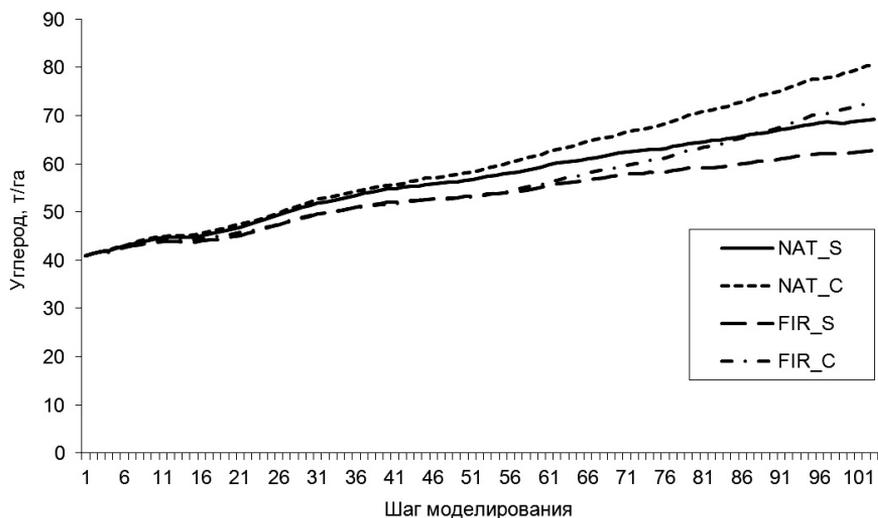


Рис. 4.3. Динамика запасов углерода в пуле древостоя при различных имитационных сценариях (заказник «Белый»).

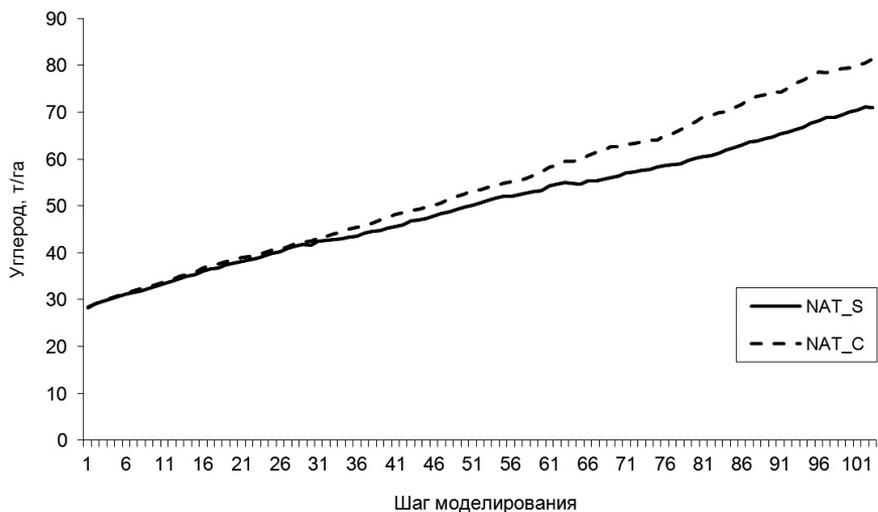


Рис. 4.4. Динамика запасов углерода в пуле древостоя при различных имитационных сценариях (заказник «Ляльский»).

венном пуле можно объяснить увеличением потока опада по мере роста и развития древостоев в отсутствие нарушений. Для территории заказника «Ляльский», где преобладают относительно богатые органическим веществом типы почв и более влажные местообитания, процесс накопления углерода в пуле органического вещества почвы протекает медленнее и практически стабилизируется ко второй половине периода моделирования на уровне 82 т га^{-1} (рис. 4.6).

Отметим, что запас углерода в почве здесь и далее рассматривается как сумма запасов в лесной подстилке и минеральной части почвы. При этом сто-

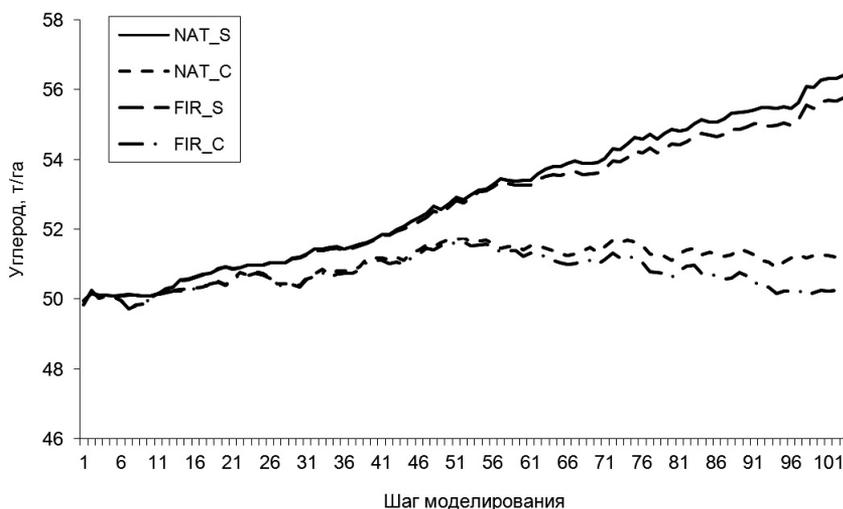


Рис. 4.5. Динамика запасов углерода в пуле почвы при различных имитационных сценариях (заказник «Белый»).

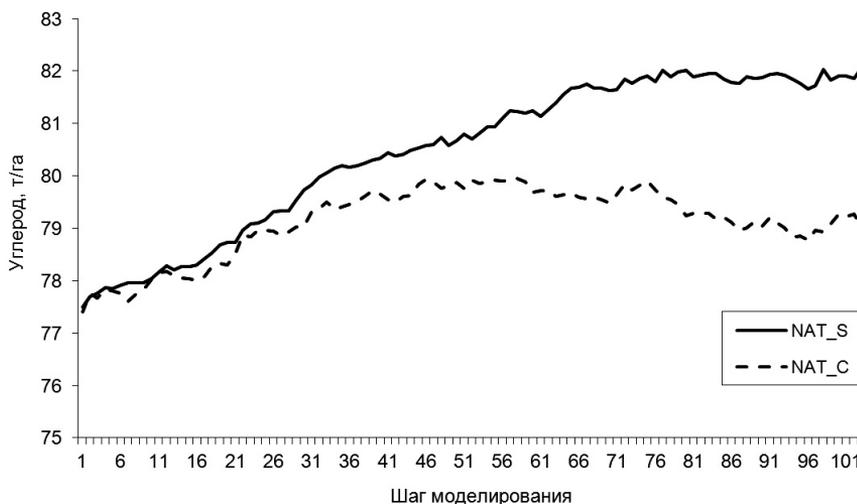


Рис. 4.6. Динамика запасов углерода в пуле почвы при различных имитационных сценариях (заказник «Ляльский»).

ит отметить, что на всех моделируемых территориях происходит небольшой рост доли подстилки в общем запасе органического вещества почвы и, соответственно, снижение доли гумуса, однако абсолютные запасы органического вещества в обоих пулах возрастают. Очевидно, что отсутствие рубок обеспечивает постоянный поток внутри- и напочвенного опада, вовлекающегося в процессы декомпозиции, в результате пулы лесной подстилки и гумуса заметно увеличиваются.

Влияние пожаров на динамику запаса углерода в почве существенно менее значительно, чем их влияние на запас углерода в древостое (рис. 4.5),

причем от них в большей степени страдает, что вполне предсказуемо, пул подстилки. Однако стоит заметить, что влияние изменений климата оказывает намного более существенное влияние на динамику запаса органического вещества в почве в целом и на относительную динамику различных его компонентов, чем пожары, которые в применяемых нами сценариях имеют небольшую силу и затрагивают относительно небольшие территории.

Запас углерода в пуле сухостоя и валежа незначительно возрастает в первой половине периода моделирования, а затем остается относительно постоянным в диапазоне порядка $10-14 \text{ т С га}^{-1}$ (рис. 4.7, 4.8), но с небольшими

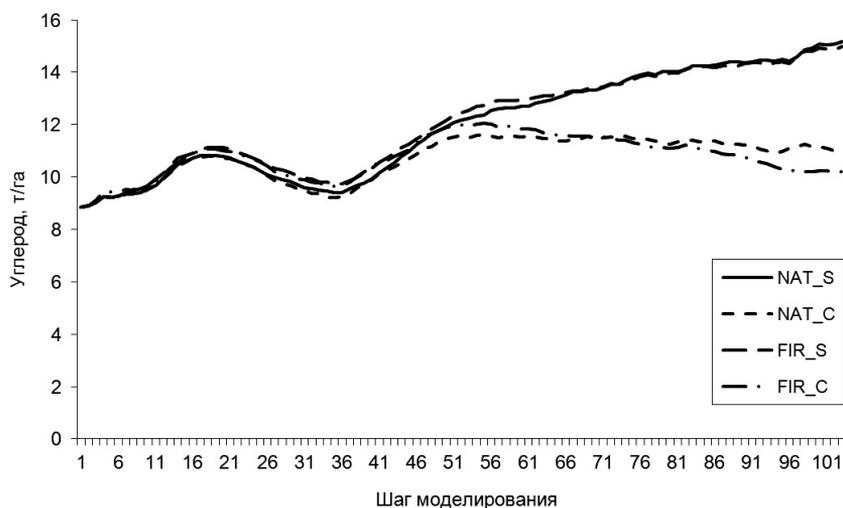


Рис. 4.7. Динамика запасов углерода в пуле сухостоя и валежа при различных имитационных сценариях (заказник «Белый»).

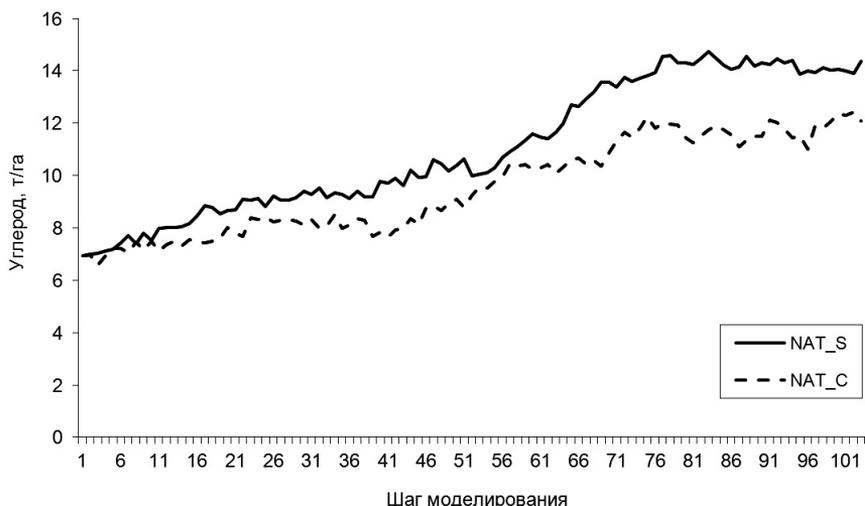


Рис. 4.8. Динамика запасов углерода в пуле сухостоя и валежа при различных имитационных сценариях (заказник «Ляльский»).

флуктуациями, вызванными двумя противоположными процессами. С одной стороны, данный пул постоянно пополняется за счет отмирания деревьев, поврежденных пожарами. С другой стороны, в процессе пожаров происходит частичное выгорание запасов сухостоя и валежа и, как следствие, дополнительная эмиссия в атмосферу углекислого газа.

Следует отметить, что разные фракции органического вещества лесных почв разным образом реагируют на имитационные сценарии. Гумус, являясь буферным компонентом почвы с длительным временем жизни и низкими скоростями разложения, медленно реагирует на внешние воздействия и климатические изменения. Подстилка, будучи лабильной фракцией, довольно быстро реагирует на изменение внешних условий – ее количество может испытывать как сильные краткосрочные колебания, вызванные пожарами, так и долгопериодические колебания, связанные с изменением климатических показателей.

В текущей версии модели две категории крупного древесного отпада – сухостой и валеж – не различаются и имитируются как часть древесного отпада со сравнительно низкой скоростью минерализации (Тарасов, 2002; Пулы и потоки..., 2007) и, в конечном счете, поступления продуктов разложения в почву.

Поскольку в таксационных описаниях данные по запасу сухостоя и валежа, как правило, отсутствуют, начальные значения данного показателя, необходимые для параметризации модели, были оценены на основе данных по отношению запаса крупных древесных остатков к запасу древесины, взятых из работ (Швиденко и др., 2009; Замолодчиков, 2009).

При сценарии без воздействий (NAT_S) в обоих местообитаниях происходит накопление углерода в пуле сухостоя и валежа в первой половине периода моделирования, связанное с процессами естественной гибели деревьев, и последующая стабилизация данного показателя на уровне 12-14 т С га⁻¹. Изменение климата (сценарий NAT_C) оказывает существенное влияние на запасы углерода в рассматриваемом пуле – стабилизация в данном случае происходит на уровне порядка 10-11 т С га⁻¹ (рис. 4.7).

Данные по запасам углерода в основных пулах для влажных и заболоченных ельников приводятся М.А. Кузнецовым (2010). Приводимые автором результаты наблюдений достаточно хорошо согласуются с результатами моделирования (табл. 4.4). Обращают на себя внимание только более низкие смоделированные показатели запаса углерода в растительности, NPP и эмиссии углекислого газа, что может объясняться тем, что модель имитирует ди-

Таблица 4.4

Измеренные и смоделированные данные по запасам углерода в основных пулах и потоках, т С га⁻¹

Пулы и потоки	Ельник чернично-сфагновый		Ельник долгомошно-сфагновый	
	Измеренные	Смоделированные	Измеренные	Смоделированные
Растительность	88.1	64.6	77.1	67.3
Минеральная почва	54.7	58.93	38.7	61.43
Подстилка	26.6	27.07	25.5	27.67
Фитодетрит деревьев	7.5	9.3	1.9	12.23
NPP, в год	3.1	2.5	2.8	2.5
Эмиссия, в год	2.7	1.8	2.4	2.1

намику только древесной растительности и не учитывает подлесок и напочвенный покров, что может привести к недооценке продуктивности, запаса углерода в пуле фитомассы, а следовательно, и к недооценке потока опада на почву, что выразится в сниженной оценке эмиссии углекислого газа.

Влияние изменений климата. Если сравнивать реакцию различных пулов углерода в лесных экосистемах на два используемых в работе климатических сценария, можно отметить, что при изменении климата имеет место повышенное (по сравнению со стационарным климатом) накопление углерода в фитомассе (рис. 4.3, 4.4). Запас углерода в сухостое, валеже и почве при этом сценарии, наоборот, ниже, чем при стабильном климате (рис. 4.5-4.8). Более низкая доля подстилки в общем запасе органического вещества почвы при изменении климата может объясняться тем, что увеличение среднемесячных температур, а также небольшое повышение количества осадков (и, соответственно, увеличение влажности подстилки и почвы) создает благоприятные условия для почвенной биоты и повышает скорость разложения органического вещества, причем в большей степени более лабильного пула подстилки.

Следствием повышения интенсивности деструкционных процессов в почве также является снижение запаса углерода в соответствующем пуле сухостоя и валежа. С другой стороны – увеличивается количество азота почвы в форме, доступной для растений. Это, в свою очередь, способствует росту продуктивности древостоев, поскольку данный фактор лимитирует синтез органического вещества растений в большинстве экосистем бореальных лесов (Федорец, Бахмет, 2003; Bobbink et al., 2010). Такое увеличение активности почвенных деструкторов и скорости минерализации было отмечено во многих исследованиях (например, Rustad et al., 2001; Vetter et al., 2005). Положительная связь между потеплением и увеличением продуктивности лесных экосистем в целом заметнее для лесов более холодных климатических зон (Strömberg, Linder, 2002). Другие аспекты влияния климата на продуктивность лесов обсуждаются в статье (Yurova et al., 2010). К сожалению, в силу ряда ограничений модель не может учитывать отрицательное влияние изменений климата на физиологические особенности растения – в частности, тепловой стресс, снижение количества фотосинтетически активной радиации вследствие увеличения облачности и реакцию на изменение гидрологического режима (Breshears et al., 2009; Johnston et al., 2009). Это обусловлено тем, что в данной системе моделей используется упрощенная модель продуктивности, достоинствами которой является небольшое количество необходимых для инициализации параметров и высокое быстродействие. Эта модель может быть легко заменена детальной экофизиологической моделью продуктивности. Однако здесь можно отметить, что изменение нормы осадков в данном случае невелико и к тому же носит положительный характер, а увеличение среднегодовых температур и снижение приходящей солнечной радиации, возможно, и оказывает влияние, но при моделировании на относительно малых временных промежутках, сопоставимых с продолжительностью жизни одного поколения деревьев, данным фактором можно пренебречь.

Особенности динамики запасов углерода в разных типах леса. Выше рассматривалась динамика запасов углерода для изучаемой территории в целом. Однако можно предположить, что в зависимости от эдафо-ценотических условий эта динамика будет существенно различаться. С целью выявления данных различий результаты моделирования были сгруппированы по типам леса, выделенным в соответствии с эдафо-ценотическими рядами типов лесов

по В.Н.Сукачеву (Желдак, Атрохин, 2002). Для анализа влияния изменений климата на динамику запасов углерода в разных типах леса были рассчитаны разности (в%) между начальным и конечным значением запаса углерода в почве и древостое (рис. 4.9).

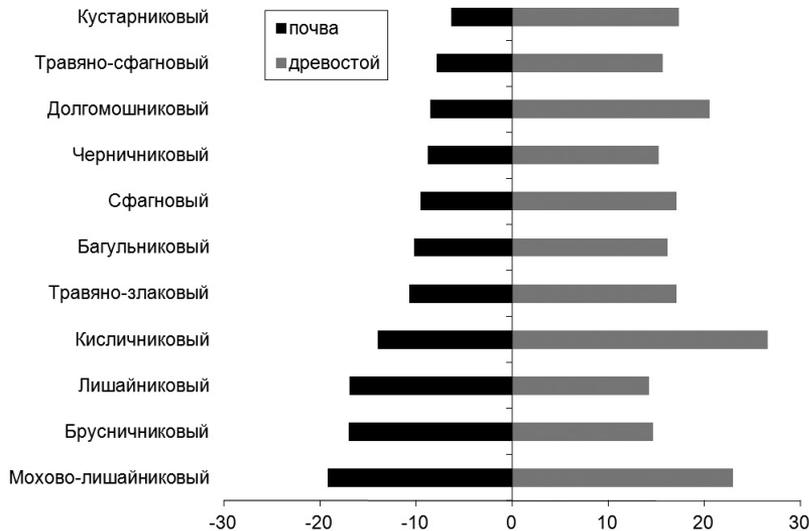


Рис. 4.9. Изменение (в %) запасов углерода в пулах древостоя и почвы при изменениях климата для разных типов леса (заказники «Белый» и «Ляльский», сводные данные).

Как видно, наибольшее влияние изменения климата оказывают на динамику пулов углерода в сухих местообитаниях с бедными почвами, а наименьшее – на местообитания с избыточным увлажнением и богатыми почвами, что особенно хорошо заметно на примере относительно стабильного пула углерода минеральной почвы (рис. 4.10).

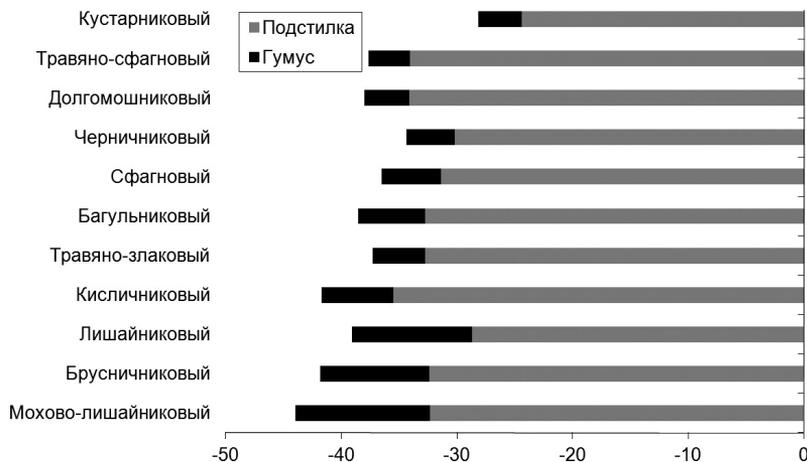


Рис. 4.10. Изменение (в %) запасов углерода в пулах подстилки и гумуса при изменениях климата для разных типов леса (заказники «Белый» и «Ляльский», сводные данные).

Чистая первичная продукция и эмиссия углекислого газа. Чистая первичная продукция (NPP) экосистемы является мерой прироста биомассы растений за вычетом затрат на дыхание (Одум, 1975). Этот показатель может свидетельствовать об интенсивности накопления углерода в экосистеме и претерпевает значительные изменения во времени как вследствие колебаний климатических показателей, так и вследствие сукцессионных процессов. Поэтому для сравнения сценариев была взята не динамика чистой первичной продукции во времени, а ее среднее значение за весь период моделирования.

При сценарии без воздействий при стационарном климате (NAT_S) среднее значение NPP составляет 1.65 тС га^{-1} в год для территории заказника «Ляльский» и 1.81 тС га^{-1} в год для территории заказника «Белый» (рис. 4.11, 4.12). Лесные пожары повреждают деревья, подрост и подстилку и, таким образом, влияют на продуктивность древостоев. Среднее значение для чистой первичной продукции в этом сценарии (FIR_S) составляет при стационарном климате около 1.77 тС га^{-1} в год, что на 2% ниже, чем в сценарии без воздействий. Однако здесь следует отметить, что фактический уровень NPP может быть ниже, поскольку некоторые виды естественных нарушений (например, ветровалы или поражение вредителями) были исключены из сценариев, рассматриваемых в данной работе. Данное допущение, теоретически, может привести к переоценке NPP (Li et al., 2003). Можно также отметить, что изменения климата оказывают существенное влияние на продуктивность экосистемы – разница по данному показателю между двумя климатическими сценариями намного больше, чем разница между имитационными сценариями, и составляет примерно 14-16%.

Эмиссия углекислого газа из почвы вследствие процессов минерализации зависит от количества поступающих в почву и вовлекающихся в процессы декомпозиции растительных остатков, а также от скорости их разложения. Эмиссия углерода в сценарии без воздействий составила 1.43 тС га^{-1} в год для заказника «Белый» и 1.17 тС га^{-1} в год для заказника «Ляльский». А.Ф. Осипов (2011) для сосняков чернично-сфагновых на территории Ляльского и Чернамского лесных стационаров Института биологии Коми НЦ УрО РАН при-

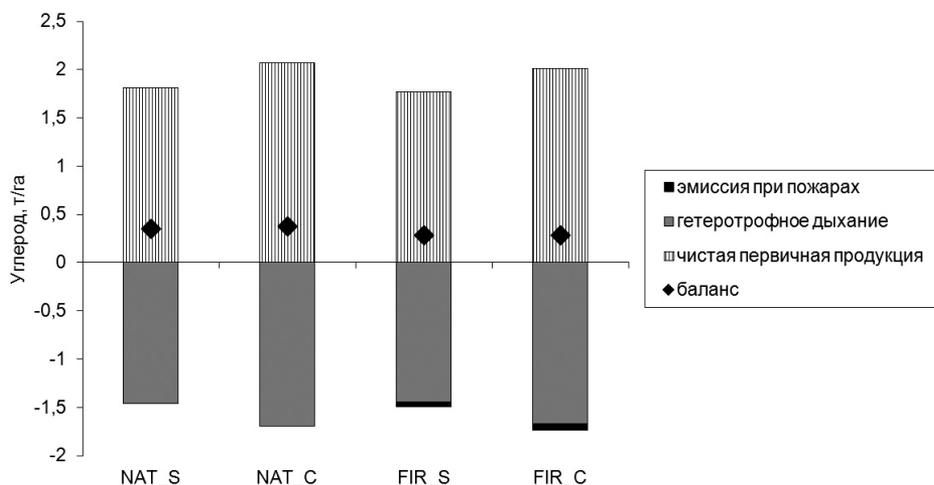


Рис. 4.11. Баланс углерода при различных имитационных сценариях (заказник «Белый»).

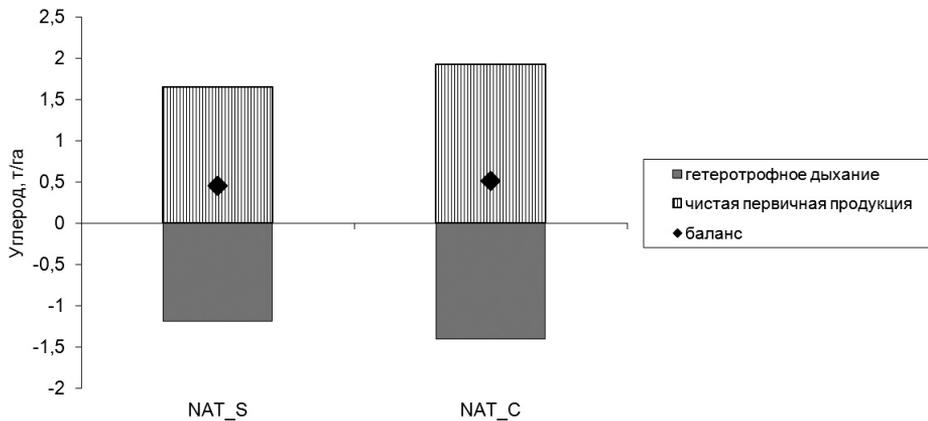


Рис. 4.12. Баланс углерода при различных имитационных сценариях (заказник «Ляльский»).

водит объем эмиссии в $0.7-0.9 \text{ тС га}^{-1}$ в год, но данная величина определена в расчете на продолжительность только вегетационного периода. Если сравнивать между собой климатические сценарии, то можно отметить, что при изменении климата уровень эмиссии углекислого газа возрастает (примерно на 16%), поскольку повышение температуры и увеличение влажности ведет к ускорению процессов минерализации органического вещества в почве. Пожары, с одной стороны, уменьшают количество доступной для разложения морт-массы, что приводит к небольшому снижению эмиссии в данных сценариях по сравнению со сценариями без нарушений (до 1.41 тС га^{-1} в год при стационарном климате). Однако лесные пожары приводят к прямой эмиссии диоксида углерода вследствие сгорания органических соединений, которая составила 0.042 тС га^{-1} в год при стационарном климате и 0.063 тС га^{-1} в год при изменениях климата. Как следствие, общая эмиссия углекислого газа в сценариях с пожарами выше.

Баланс углерода для каждого из имитационных сценариев рассчитывался как сумма чистой первичной продукции насаждения за весь период моделирования за вычетом эмиссии углекислого газа из почвы и разлагающихся крупных растительных остатков и потерь углерода за счет сгорания органического вещества в результате пожаров. Во всех сценариях лесные экосистемы функционировали как сток, но абсолютное значение показателя углеродного баланса выше в сценариях без нарушений, по сравнению со сценариями с пожарами. При потеплении баланс углерода во всех лесохозяйственных сценариях превышает по своему абсолютному значению аналогичный показатель для стационарного климата (повышение продуктивности древостоев за счет потепления перекрывает увеличение объемов эмиссии углекислого газа), причем разница между двумя климатическими сценариями больше для сценария без воздействий, потому что в сценарии с пожарами при изменении климата (FIR_C) происходят дополнительные потери углерода вследствие возросшей интенсивности пожаров.

Динамика видового состава и возрастной структуры древостоев. Разные имитационные сценарии неодинаково влияют на сукцессионную динамику насаждений, что привело к различиям в видовом составе и возрастной структуре на конец периода моделирования. Так, в сценарии без воздействий к концу периода моделирования возрастают доли сосны для заказника «Белый»

и ели для заказника «Ляльский» (рис. 4.13, 4.14). Насаждения имеют полноценный возрастной спектр, высока доля спелых и перестойных древостоев.

Сценарии с лесными пожарами приводят к незначительному увеличению долей березы и сосны, которые являются основными участниками послепожарных сукцессий, при таком же незначительном снижении доли ели. Пожары также приводят к увеличению доли молодых и приспевающих деревьев за счет повышенной смертности старых.

Прогнозы относительно влияния климата на динамику видового состава обычно говорят о возможном сдвиге растительных зон на север со скоростью 200-1000 м в год (Iverson, Prasad, 1998; Pearson, 2006; Johnston et al.,

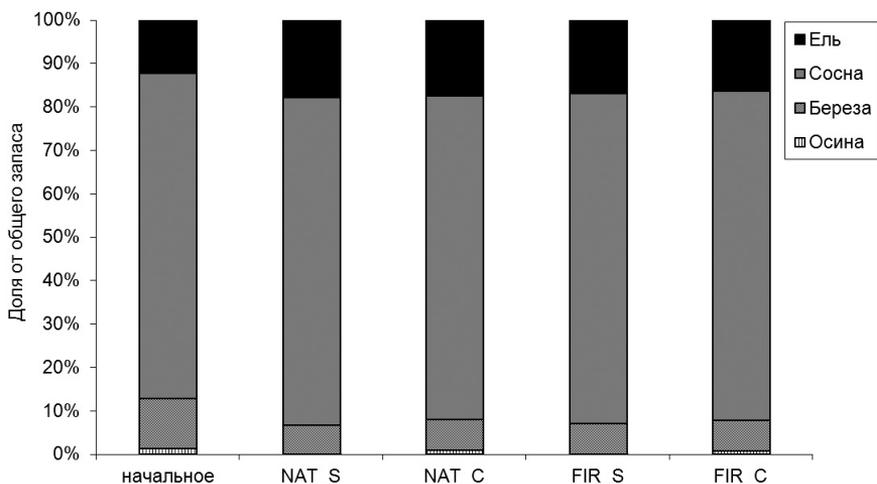


Рис. 4.13. Видовой состав древостоев на конец периода моделирования при различных имитационных сценариях (заказник «Белый»).

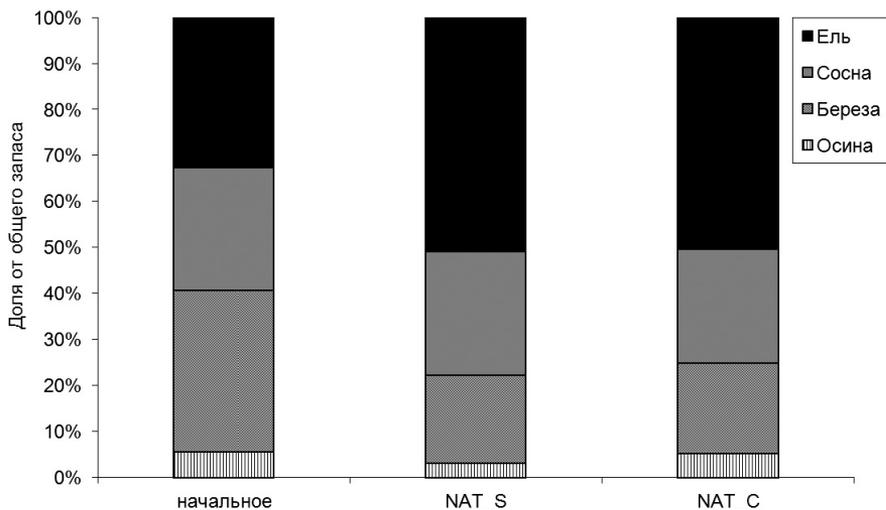


Рис. 4.14. Видовой состав древостоев на конец периода моделирования при различных имитационных сценариях (заказник «Ляльский»).

2009) вследствие миграции отдельных видов. Возможность сдвига растительных зон и замена хвойных и мелколиственных видов широколиственными отмечалась в ряде исследований, использующих как палеоэкологические методы (Overpeck et al., 1991), так и методы имитационного моделирования (Sykes et al., 1996; Iverson, Prasad, 1998, 2001).

Также следует отметить, что климатические показатели не оказывают заметного влияния на видовой состав и возрастную структуру древостоев – динамика этих параметров практически полностью определяется имитационным сценарием, который «маскирует» эффекты изменений климата, однако некоторые различия между сценариями со стационарным климатом и с климатическими изменениями все же имеются, особенно в сценарии без воздействий. В частности, изменения климата приводят к относительному повышению доли мелколиственных видов и небольшому снижению доли ели. Такие результаты вполне согласуются с данными полевых наблюдений, приведенными выше. Однако здесь следует отметить, что в долгосрочной перспективе (моделирование на несколько сотен лет) следует ожидать, что эффект изменений климата выйдет на первое место.

Таким образом, анализ результатов имитационного эксперимента показал, что повышение среднегодовых температур и количества осадков влияет на перераспределение запасов углерода и азота в органической форме: происходит нарастание запасов этих элементов в пуле фитомассы одновременно с обеднением пула почвы. Также повышение среднегодовых температур приводит к увеличению фитомассы и уменьшению запасов углерода в лесной подстилке, относительно повышая при этом аккумуляцию углерода в органическом веществе минеральных горизонтов почвы. Следствием повышения скоростей деструкционных процессов является увеличение количества азота в почве в форме, доступной для растений, что влечет за собой возрастание продуктивности насаждений. Наибольшее накопление запасов углерода и азота в лесных экосистемах имеет место в сценарии без воздействий, при этом формируются высокопродуктивные разновозрастные хвойные древостои. Кроме того, в этом сценарии обеспечивается максимальный сток углерода в лесные экосистемы. Потери в пулах углерода в древостое и почве вследствие лесных пожаров сравнимы с эффектом от лесохозяйственной деятельности человека, но, в данном случае, хозяйственно ценная древесина теряется безвозвратно.

Важно отметить, что моделирование всех исследованных лесов при различных сценариях указывает на положительный баланс углерода, т.е. его заметный сток. По-видимому, в первую очередь это связано с моделированием территорий, на которых преобладают молодые и средневозрастные древостои. Для полного анализа необходимо проанализировать возможную динамику спелых и перестойных лесов при тех же сценариях изменения климата и лесных пожаров. Тогда суммарная оценка баланса углерода может быть уточнена.

Глава 5. РАЗНООБРАЗИЕ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА, ЗАПАСЫ УГЛЕРОДА И ЭМИССИЯ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В БОЛОТНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ООПТ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ

Исследования болот в Республике Коми были начаты в первой половине XX в. в связи с промышленным и сельскохозяйственным освоением этих территорий. Результаты изысканий торфяных месторождений отражены в фундаментальных сводках, таких как «Торфяной фонд Коми АССР» (1958), «Торфяные месторождения Коми АССР» (1984), «Торфяные ресурсы Республики Коми» (2000) и соответствующих им картах. В них приводится количественная и качественная характеристика торфяных залежей, но не содержатся сведения о флоре и растительности болот. История изучения растительного покрова болотных систем на Европейском Северо-Востоке России связана с именами таких известных болотоведов, как В.В. Цинзерлинг, Н.Я. Кац, М.Н. Никонов, М.С. Боч, В.И. Василевич, Т.К. Юрковская, которые работали здесь в разные годы в составе комплексных экспедиций. Однако из-за труднодоступности и огромной территории работы по изучению флоры и растительности болот Республики Коми еще не завершены (Состояние изученности..., 1997).

Первые исследования растительности болот в верховьях Илыча и Печоры были проведены В.С. Говорухиным (1929) и А.А. Корчагиным (1940). Позднее выполнено детальное обследование, характеристика флоры и растительного покрова болот, расположенных на всей территории Печоро-Илычского заповедника. Результаты этих исследований отражены в работах М.С. Боч и В.И. Василевич, (1976, 1980), М.С. Боч и Н.М. Оленской (1980). Растительный покров и строение торфяной залежи отдельных болот в среднем течении р. Печоры в разные годы проводили Ю.Д. Цинзерлинг (1929) и М.Н. Никонов (1953). Характеристика припечорских аапа болот и границ их распространения впервые была дана Н.Я. Кацем (1928). Им же совместно с Ц.И. Минкиной (1936) были исследованы низинные и верховые болота в нижнем течении р. Печоры и некоторых ее крупных притоков. Изучением болот, в основном крупнобугристых, в нижнем течении р. Печоры, включая бассейн р. Усы, занимался Б.Н. Городков (1932), который дал описание мерзлых болот и их географического распространения. Вопросам растительности и происхождения бугристых торфяников на территории республики посвящены исследования Н.И. Пьявченко (1949, 1951, 1955). В цикле работ М.С. Боч и Н.Г. Солоневич (1965, 1967, 1972) дана характеристика структуры болот в лесотундре, из которых наиболее типичные были предложены для охраны. Р.Н. Алексеевой и П.О. Оксанен (2005) изучены флора, растительность и стратиграфия торфяной залежи Усинского болота, одной из крупнейших болотных систем в Европе, ими же определена южная граница распространения островной многолетней мерзлоты. Изучением флоры, растительности и ресурсов некоторых

видов болотных растений различных типов болот на территории Республики Коми в разные годы активно занималась Р.Н. Алексеева (1988, 1992, 2000, 2009). Благодаря ее усилиям совместно с сотрудниками ботанического института им. В.Л. Комарова создан фонд охраняемых болот Республики Коми, который включает 112 региональных заказников и памятников природы, расположенных во всех природно-климатических зонах Коми (Кадастр охраняемых..., 1993).

На сегодняшний день в республике остаются слабо изученными болота в бассейнах рек Вычегды и Лузы, где исследованы лишь отдельные массивы болот (Гетманов, 1952, 1956; Алексеева, 1982, 1987; Алексеева, Гончарова, 2007; Гончарова, 2007; Гончарова, Юрковская, 2007). Имеются немногочисленные сведения о торфяниках в бассейнах р. Вымь (Юрковская, 1980; Алексеева, Пахучий, 1990), р. Кожима (Алексеева, Гончарова, 2006), р. Ижмы (Гончарова и др., 2006; Гончарова, Алексеева, 2006). Мало изученными остаются огромные площади болот, расположенные в бассейнах нижнего течения р. Печоры, рек Цильмы, Ижмы и Мезени, а также в предгорьях и горах Урала. В последние десятилетия в ходе комплексных геоботанических экспедиций в различные районы республики, в том числе в рамках международных проектов, были собраны новые данные о флоре и растительности отдельных массивов болот. К сожалению, большая часть полученных результатов пока не опубликована и представлена только в виде научных отчетов. В литературе практически отсутствуют данные о фауне болот республики, хотя болота являются местом обитания многих животных, включая редкие, охраняемые и хозяйственно-ценные виды. Остаются также слабо изученными экологические функции болот, их роль в поглощении из атмосферы и запасании углерода в условиях изменения климата в регионе.

5.1. Биологическое разнообразие растительного покрова болот среднетаежной подзоны

Согласно материалам «Торфяных ресурсов...» (2000), торфяные болота в Республике Коми занимают около 10% ее площади. Основная часть болот сосредоточена в таежной зоне, преимущественно в средней тайге. Здесь распространены обширные болотные системы, состоящие из нескольких разнотипных массивов, а также небольшие по площади ключевые болота. Болота различаются по площади, геоморфологическому положению, условиям водно-минерального питания, флористическому составу, структуре растительного покрова и играют важную роль в поддержании биологического разнообразия региона и его углеродного бюджета.

Сохранение болот, выполняющих экологические и социальные функции в регионе, является одной из актуальных задач природоохранных структур и научной общественности в республике. Важная роль в сохранении болотных ландшафтов принадлежит системе ООПТ. По данным С.В. Дёгтевой, Н.Н. Гончаровой (2012), охраняемый болотный фонд Республики Коми включает 112 болотных резерватов общей площадью около 560 тыс. га, что составляет 1.3% общей площади территории республики и примерно 17.5% торфяного фонда региона (табл. 5.1). В список ООПТ республики вошли ненарушенные уникальные и эталонные для каждой географической зоны болотные массивы и их системы, являющиеся местообитанием как типичных, так и редких видов растений и животных.

Таблица 5.1

Охраняемый болотный фонд Республики Коми

Тип	Количество	Площадь, га	Процент от площади республики
Заказники			
Комплексные (ландшафтные)	1	138300	0.33
Болотные	94	419408	1.01
Гидрологические (болотные)	1	408	> 0.01
Памятники природы			
Болотные	16	1466	> 0.01
Итого	112	559582	1.34

Для изучения биологического разнообразия растительного покрова, запасов органической массы болотной растительности и эмиссии парниковых газов было выбрано три объекта. Два из них – болотные заказники «Угтьюм» и «Пычимское» – действующие резерваты регионального значения. Болотный заказник «Угтьюм» охраняется как эталон типичной болотной системы средней тайги, заказник «Пычимское» создан с целью сохранения запасов клюквы и морошки. Третий объект – болото Медла-Пэв-Нюр (Усть-Пожегское) – в настоящее время используется как мониторинговая площадка для изучения эмиссионных потоков CO_2 и CH_4 . Благодаря высокой научной значимости и транспортной доступности это болото является перспективным для создания болотного резервата с целью организации первого в республике болотного научного стационара. Поэтому в рамках проекта ПРООН/ГЭФ по выявлению перспективных для организации новых ООПТ территорий и повышению репрезентативности сети ООПТ, данный объект рекомендован (подготовлены материалы) для включения в список ООПТ Республики Коми как типичное для подзоны средней тайги мезоолиготрофное болото, представляющее научный интерес. Эти объекты представляют собой ненарушенные болотные экосистемы, типичные для подзоны средней тайги, в пределах которых встречаются все основные типы болотных местообитаний (от олиготрофных до минеротрофных). Данные о возрасте, происхождении и генезисе представленных болот нами не обнаружены.

Для характеристики растительного покрова болот использовали цветные космо- и аэрофотоснимки различного масштаба, дешифрирование которых проводили с использованием аэроназемного метода, разработанного Е.А. Галкиной (1953, 1964), с применением дешифровочных признаков Е.А. Романовой (1961), Т.С. Савельевой (1977). По ним предварительно намечали места проведения профилей и закладки временных пробных площадей. Геоботанические описания растительных сообществ выполняли по общепринятой методике на пробных площадях размером 10x10, 20x20 м или в естественных границах сообществ (Лавренко, Корчагин, 1959; Шенников, 1964; Орешкин и др., 2004). Пробные площади закладывали в типичных частях фитоценозов. В комплексах описывали отдельно слагающие их фитоценозы по элементам микрорельефа (Методы исследований..., 1991). На комплексных участках также измеряли высоту, длину и ширину кочек, гряд и их процентное отношение к пробной площади. Отмечали уровень стояния болотно-грунтовых вод (УБГВ) от поверхности мохового покрова. Редкие и трудноопределимые растения гербаризировали.

В процессе камеральной обработки сосудистые растения определяли по «Флоре Северо-Востока европейской части СССР» (1974-1977). Номенклатура приведена по сводке С.К. Черепанова (1995). Определение мхов проведено по: «Определителю листостебельных мхов Арктики СССР» (Абрамова, 1961), «Определителю сфагновых мхов СССР» (Савич-Любицкая, Смирнова, 1968), «Определителю листостебельных мхов Карелии» (Абрамов, Волкова, 1998), «Флоре мхов средней части России» (Игнатов, Игнатова, 2003) и «Key to Northern Boreal and Arctic species of *Sphagnum*, based on characteristics of the stem leaves» (Lange, 1982). Номенклатура приведена по «Флоре мхов средней части России» (Игнатов, Игнатова, 2003).

Характеристика растительного покрова болотного заказника «Угъюм» («Синдорское»). Заказник расположен в Княжпогостском районе, в 5.5 км на юго-восток от с. Синдор, на водоразделе р. Ленчим и оз. Синдорского (62°40'–62°48' с.ш., 52°01'–52°15' в.д. WGS 84). Водоприемниками являются р. Южный Угъюм, которая вытекает из юго-западной части болота, и р. Северный Угъюм, вытекающая из северо-западной части болотной системы.

В пределах ООПТ охраняется обширная олигомезотрофная болотная система площадью 13 665 га, состоящая из нескольких разнотипных массивов. Существенную ее часть занимают комплексные верховые болота, разделенные мезотрофными участками, поймами болотных ручьев или лесными островами, гривами. Болотный заказник «Угъюм» характеризуется довольно богатым видовым составом (табл. 5.2). На обследованной территории заказника выявлено 78 видов растений (54 – сосудистые, 21 – мохообразные и три – лишайники). 14 видов являются лекарственными и/или хозяйственно-ценными (*Ledum palustre* – багульник болотный, *Oxycoccus palustris* – клюква болотная, *Rubus chamaemorus* – морошка и др.). Редкие виды и виды, нуждающиеся в охране, на обследованных участках не обнаружены. Высокое видовое и ценоотическое разнообразие связано с многообразием элементов микрорельефа, различными условиями гидрологического режима и водно-минерального питания.

Верховые массивы болотного заказника «Угъюм» являются типичными для подзоны средней тайги. Они имеют выпуклую или слабовыпуклую поверхность, бедный видовой и ценоотический состав, так как их питание осуществляется за счет атмосферных осадков и поверхностного стока. Для верховых, или олиготрофных, болот заказника характерна сложная горизонтальная структура растительного покрова, т.е. постепенно от центра к окрайке происходит смена растительности. Основная площадь массивов занята грядово-мочажинными комплексами, в которых гряды занимают 70% на окрайке и 30% в центре болота. Их высота варьирует от 40 до 80 см, ширина – 1-4 м, длина меняется от 10 до 150 м и более. В центре повышения безлесные или с единичными угнетенными деревьями сосны. Высота их редко превышает 4 м. Ближе к краю болота деревья достигают 8-10 м. Растительность гряд довольно однообразна и представлена, преимущественно, кустарничково-морошково-сфагновыми и кустарничково-сфагновыми фитоценозами. В большинстве случаев это полидоминантные фитоценозы с согосподством в травяно-кустарничковом ярусе нескольких видов кустарничков: *Chamaedaphne calyculata* (кассандры болотной), *Ledum palustre*, *Empetrum hermaphroditum* (вороники гермафродитной), *Vaccinium uliginosum* (голубики), суммарное ПП которых достигает 50% и *Rubus chamaemorus* (ПП 10-30%). Иногда один из этих видов преобладает над другими (ПП 25-30%). Так же постоянны, но менее обильны,

Таблица 5.2

Список видов растений и их обилие в болотных фитоценозах

Название болота № учетной площадки	Угюм						Пычимское			Медла-Пэв-Нюр				
	ПП1 ↑*	ПП1 ↓	ПП2 ↑	ПП2 ↓	ПП3 ↑	ПП3 ↓	ПП1 ↑	ПП1 ↓	ПП2 -	ПП3 ↑	ПП3 ↓	ПП4 -	ПП5 ↑	ПП5 ↑
	Деревья													
<i>Betula pubescens</i> Ehrh.										+				
<i>P. sylvestris</i> L.	0.1		+				+		0.1			+	+	
	Кустарнички													
<i>Andromeda polifolia</i> L.	5	5	5	1	5		5	3	2	25	2	1	10	5
<i>Betula nana</i> L.											+	+	5	
<i>Chamaedaphne calyculata</i> (L.) Moench	25	5	50	1	20		35	5	10	40	3	4	15	5
<i>Empetrum hermaphroditum</i> (Lange) Hagerup	5				10									
<i>Ledum palustre</i> L.	10		5		10		5						5	
<i>Oxycoccus microcarpus</i> Turcz. ex Rupr.	+	3	+		+		1			+				
<i>O. palustris</i> Pers.	+			+	+		+	2	3		+	3	5	5
<i>V. uliginosum</i> L.	10		5		5		5						30	
	Травы													
<i>Carex chordorrhiza</i> Ehrh. ex L.	+	2												
<i>C. lasiocarpa</i> Ehrh.														15
<i>C. limosa</i> L.						+								
<i>C. pauciflora</i> Lightf.									+				+	
<i>C. paupercula</i> Michx.									+		5	2		
<i>C. rostrata</i> Stokes									45			45	5	25
<i>Drosera anglica</i> Huds.						+								
<i>D. rotundifolia</i> L.	+		+	+	+	+	+	+		+		+	+	
<i>E. vaginatum</i> L.	5	35	5	1	+			40	10	5	5	5	5	3
<i>Menyanthes trifoliata</i> L.													10	15
<i>Rubus chamaemorus</i> L.	15		10		15		15							
<i>Scheuchzeria palustris</i> L.				20		25					35			
	Мхи													
<i>Aulacomnium palustre</i> (Hedw.) Schwaegr.										+				+
<i>Pleurozium schreberi</i> (Brid.) Mitt.													10	
<i>Polytrichum strictum</i> Brid.	10				+				+	+			+	
<i>Sphagnum angustifolium</i> (Russ.) C. Jens	15	45	80	5	+					15		+	10	
<i>S. balticum</i> (Russ.) C. Jens.				90		100								
<i>S. capillifolium</i> Hedw.									+					
<i>S. fallax</i> (Klinggr.) Klinggr. emend. Jsov.								80	80			90		90
<i>S. fuscum</i> (Schimp.) Klinggr.	55	10	10		95		100		5				70	
<i>S. magellanicum</i> Brid.	20	35	10	5	+			20	10	85		10	10	10
<i>S. russowii</i> Warnst.		5												

Примечание. Элемент микрорельефа: ↑ – кочка, гряда, ↓ – топь, мочажина, «-» – ковер.

Andromeda polifolia (подбел узколистный), *Betula nana* (карликовая березка), *Oxycoccus microcarpus* (клюква мелкоплодная), *Drosera rotundifolia* (росянка круглолистная), менее постоянны *Eriophorum vaginatum* (пушица влагалищная), *Vaccinium vitis-idaea* (брусника) и *Carex pauciflora* (осока малоцветковая). Напочвенный покров почти всех сообществ образован сфагновыми мхами. В напочвенном покрове всех гряд господствует *Sphagnum fuscum* (сфагнум бурый, ПП 70-100%), часто совместно с ним произрастают *Sphagnum russowii* (сфагнум Руссова), *Polytrichum strictum* (политрихум сжатый), *Mylia anomala*

(милия аномальная). Мочажины занимают 30-70% площади комплексов. Как правило, они обводнены и трудно проходимы, в некоторых случаях уровень воды выше поверхности мохового покрова. На олиготрофных болотах растительность мочажин довольно однообразна и однородна. Она представлена шейхцерево-сфагновыми и осоково-сфагновыми сообществами. В отличие от гряд в мочажинах кустарничков нет. Исключением является только клюква болотная. Мочажины маловидовые (три-семь видов) с сильно разреженным растительным покровом (ПП 10-20%). Кроме *Scheuchzeria palustris* (шейхцерия болотная) и *Carex limosa* (осока топяная) в обводненных мочажинах произрастают *Andromeda polifolia*, *Drosera anglica* (росянка английская) и *Oxycoccus palustris*, но эти виды менее постоянны и обильны (ПП 1-5%). Напочвенный покров большинства мочажин образован *Sphagnum balticum* (сфагнум балтийский), реже – *S. lindbergii* (с. Линдбери) и *Warnstorffia exannulata* (варнсторфия бескочечковая).

В центральной части крупных массивов грядово-мочажинные участки сменяются участками с деградированным растительным покровом в понижениях микрорельефа и далее грядово-мочажинно-озерковым комплексом, где озера занимают до 20-30% площади, а глубина воды варьирует от +2 до +50 см и более. К участкам с деградированным торфом приурочены *Trichophorum caespitosum* (пухонос дернистый), *Drosera anglica* и печеночные мхи (р. *Calypogeia*). Растительный покров в озерах почти отсутствует или сильно разрежен (ПП до 10%). Центр болота мелкокочковатый, покрытый низкорослой сосной, кустарничками и *Sphagnum fuscum*. Здесь распространены те же сообщества, что и на грядах.

По периферии верховых массивов, как правило на границе с окружающим болотом лесом, характер микрорельефа кочковато-топяной или мелкокочковатый. Растительность олиготрофная и представлена, в основном, сосново-кустарничково-пушицево-сфагновыми и кустарничково-сфагновыми сообществами. Преобладают полидоминантные кустарничково-сфагновые фитоценозы с согосподством нескольких видов в травяно-кустарничковом ярусе *Eriophorum vaginatum*, *Andromeda polifolia*, *Chamaedaphne calyculata*, *Carex pauciflora*, *Vaccinium uliginosum* (суммарное ПП 30-60%). Реже встречаются *Ledum palustre*, *Rubus chamaemorus* или *Empetrum hermaphroditum* (ПП 25-30%). Древесный ярус разрежен, часто на повышениях встречаются отдельно стоящие деревья *Pinus sylvestris*, высота сосны 1-5 м. Также здесь произрастают *Oxycoccus palustris* и *O. microcarpus*, *Drosera rotundifolia* и др. (ПП менее 5%). В напочвенном покрове преобладают сфагновые мхи – *Sphagnum magellanicum* (сфагнум магелланский), *S. angustifolium* (с. узколистный), *Sphagnum fuscum* (ПП 70-100%), менее обильны *S. russowii*, *Polytrichum strictum*. Вдоль края болота часто встречаются небольшие по площади мезотрофные, мезоолиготрофные топи или ковры. В травяно-кустарничковом ярусе господствуют *Carex rostrata* (осока бутылчатая) или *C. lasiocarpa* (о. шерстистоплодная), их среднее ПП составляет 50%, в напочвенном покрове – *Sphagnum fallax* (сфагнум изменчивый). Помимо перечисленных видов в этих фитоценозах произрастают *Andromeda polifolia*, *Chamaedaphne calyculata*, *Eriophorum vaginatum*, *Oxycoccus palustris* и др.

В местах стока болотных вод не редки проточные топяные участки, занятые мезотрофными и мезоевтрофными древесно-кустарничково-осоково-сфагновыми мозаичными сообществами. Микрорельеф кочковато-топяной, реже ровный. В них часто произрастет *Pinus sylvestris* (высота 3-10 м, сомкну-

тость 0.1-0.3), образуя разреженный древесный ярус, часто с примесью *Betula pubescens* (береза) и *Picea obovata* (ель сибирская) высотой до 5 м. В подлеске встречаются *Salix lapponum* (ива лопарская) и *S. myrtilloides* (и. черничная). На пристволовых повышениях господствуют болотные кустарнички: *Andromeda polifolia*, *Chamaedaphne calyculata*, *Ledum palustre*, *Oxycoccus palustris* и др. Из лесных растений обильны *Vaccinium myrtillus* и *V. vitis-idaea*. Моховой ярус кочек образован смесью сфагновых и бриевых мхов, среди них преобладают *Sphagnum magellanicum*, *S. angustifolium*, *Polytrichum strictum*, *Pleurozium schreberi* (плеврозиум Шребера) и *Aulacomnium palustre* (аулакомниум болотный). Межкочечные понижения и ровные участки заняты осоково-сфагновыми сообществами, с господством *Carex rostrata* или *C. lasiocarpa* (среднее ПП 50%), в напочвенном покрове доминирует *Sphagnum fallax*. Помимо перечисленных видов в этих фитоценозах значительно участие различных мезоэвтрофных и евтрофных видов: *Equisetum fluviatile* (хвощ топяной), *Eriophorum polystachion* (пушица многоколосковая), *E. gracile* (п. стройная), *Epilobium palustre* (кипрей болотный), *Dactylorhiza* sp. (пальчатокоренник sp.), *Menyanthes trifoliata* (вахта трехлистная), *Calamagrostis neglecta* (вейник незамечаемый) и *C. purpurea* (в. пурпурный), *Carex aquatilis* (осока водная) и *C. paupercula* (о. заливная), *Comarum palustre* (сабельник болотный), *Naumburgia thyrsoflora* (наумбургия кистецветная), *Pedicularis* sp. (мытник sp.), *Sphagnum riparium* (сфагнум береговой), *S. squarrosum* (с. оттопыренный), видов р. *Calliergon* (Каллиергон) и др. Единично отмечены олиготрофные виды, такие как *Andromeda polifolia*, *Chamaedaphne calyculata*, *Eriophorum vaginatum*, *Carex pauciflora*, *Oxycoccus palustris*, среди мхов – *Sphagnum fuscum* и некоторые другие (встречаемость до 40%).

Таким образом, болотный заказник «Угьюм» представляет собой естественную, малонарушенную природную систему, следы антропогенного воздействия (кострища, дороги, тропинки, следы вырубок и локальных пожаров) отмечены преимущественно в доступных для населения окраинных частях заказника. Многообразие местообитаний, которые существенно различаются по экологическим условиям от крайне бедных болотных до более евтрофных заболоченных, делают данный резерват важным элементом в сохранении биологического разнообразия региона. Местами обильны клюква и морошка. На территории заказника обитают и кормятся многие виды животных (лоси, медведи, различные виды птиц и др.). Так, например, заболоченные окраины богаты боровой дичью, водоемы являются местообитанием многих видов птиц, в том числе уток и гусей. Особенное значение заказник имеет в поддержании гидрологического режима наземных и водных экосистем, так как здесь берут начало многочисленные ручьи и реки, питающие различные водоемы, в том числе оз. Синдорское.

Характеристика растительного покрова болотного заказника «Пычимское». Заказник расположен в Сыктывдинском районе, в 12 км к юго-востоку от с. Слудка, на водоразделе рек Вычегда и Пожег (61°51'–61°52' с.ш., 50°19'–50°23' в.д. WGS 84).

На территории резервата охраняется типичное для южной части средней тайги верховое сфагновое болото, его площадь составляет 400 га. Флора сосудистых растений заказника не богата и включает около 40 видов, из которых большинство являются типичными представителями болотных сообществ (табл. 5.2). Треть растений имеет пищевую и лекарственную ценность (морошка, клюква, голубика, багульник и др.).

Для него характерна слабовыпуклая поверхность. Структурные элементы верховых болот, такие как окрайка, склон и вершина, различаются нечетко. Превышение высоты вершины над окраиной составляет около 2 м. Для центральной части болота характерен кочковатый микрорельеф с мелкими мочажинами, которые занимают около 10% площади участка. Растительный покров вершины массива довольно однообразный. Она равномерно (спорадически) облесена низкорослой сосной (высота от 0.5 до 4.0 м). Здесь на повышениях широко распространены кустарничково-сфагновые и кустарничково-морошково-сфагновые сообщества. Преимущественно это полидоминантные фитоценозы с господством в травяно-кустарничковом ярусе нескольких видов болотных кустарничков: *Chamaedaphne calyculata*, *Andromeda polifolia*, *Ledum palustre*, *Empetrum hermaphroditum*, *Vaccinium uliginosum* и *Rubus chamaemorus*. Проективное покрытие этих видов в сумме составляет 40-80%. Высоким постоянством характеризуются *Oxycoccus palustris*, *O. microcarpus*, *Drosera rotundifolia*, *Eriophorum vaginatum* и *Carex pauciflora*, но они играют незначительную роль в формировании растительного покрова, их проективное покрытие редко превышает 5%. В напочвенном покрове господствует *Sphagnum fuscum*, отличающийся не только постоянством, но и высоким обилием (ПП 70-100%). Совместно с ним произрастают *Sphagnum magellanicum*, *S. angustifolium*, *Polytrichum strictum*, *Aulacomnium palustre* и *Mylia anomala*, единично встречаются лишайники (*Cladonia arbuscula*, *C. rangiferina*). Межкочечные понижения и небольшие мочажины заняты кустарничково-пушицево-сфагновыми и пушицево-сфагновыми фитоценозами. Они имеют сходный видовой состав с описанными ранее фитоценозами и отличаются лишь долей участия некоторых видов растений в сложении травяно-кустарничкового яруса. В травяно-кустарничковом ярусе господствует *Eriophorum vaginatum* (ПП – 20-40%), в качестве содоминантов выступают *Chamaedaphne calyculata*, *Andromeda polifolia* и *Oxycoccus palustris*. Эти кустарнички постоянны, но менее обильны, чем в сообществах повышений (суммарное покрытие до 30%). В напочвенном покрове господствуют *Sphagnum magellanicum* и *S. angustifolium*, иногда встречаются *S. fallax* и *S. balticum*.

Склон болота пологий, выражен нечетко, для него характерен хорошо развитый кочковато-топяной комплекс. Повышения здесь занимают до 50% площади комплекса. Его растительность представлена, преимущественно, теми же сообществами, что и на вершине болота: на кочках кустарничково-сфагновые и кустарничково-морошково-сфагновые, а в топях – пушицево-сфагновые. Здесь же значительные площади заняты шейхцерево-сфагновыми фитоценозами с господством *Scheuchzeria palustris* и *Sphagnum balticum* в травянистом и моховом ярусах соответственно.

Вдоль края болота распространены мезоолиготрофные, мезотрофные топи и ковры. Часто окрайка облесена сосной (*Pinus sylvestris*), с примесью *Betula pubescens*, сомкнутость крон составляет 0.1-0.2. Единично отмечены деревья *Picea obovata* в угнетенном состоянии, их высота не превышает 2 м. Местами встречается много сухостоя. Ровные участки заняты (древесно)-осоково-сфагновыми сообществами с господством *Carex rostrata* или *C. lasiocarpa* (среднее ПП 50%), в напочвенном покрове доминирует *Sphagnum fallax* (ПП 95-100%). Помимо осок в этих фитоценозах произрастают *Andromeda polifolia*, *Chamaedaphne calyculata*, *Eriophorum vaginatum*, *Carex pauciflora*, *Oxycoccus palustris* и некоторые другие виды. По краю болота формируются и олиготрофные мозаичные кочковатые участки. Для них характерно че-

редование разнообразных сосново-кустарничково-сфагновых, сосново-кустарничково-травяно-сфагновых сообществ на повышениях и травяно-сфагновых фитоценозов межкочечных понижений. Травяно-кустарничковый ярус всех сообществ имеет сходный видовой состав, но обилие видов значительно варьирует. Следует отметить, что *Carex globularis* (осока шаровидная), *Vaccinium myrtillus*, *V. vitis-idaea*, *Dactylorhiza maculata* (пальчатокоренник пятнистый) и некоторые другие виды произрастают только в сообществах окраек.

В целом, резерват представляет собой естественную, малонарушенную природную систему, незначительные следы антропогенного воздействия (тропы, кострища, бытовой мусор) вызваны активным посещением болота местным населением с целью сбора ягод и охоты. Болото клюквенное и морошковое. Клюквя приурочена в основном к окраинной части массива, особенно продуктивны осоково-сфагновые сообщества. Морошка широко распространена в центре массива, но на большинстве участков она угнетена. В сосново-кустарничково-сфагновых сообществах окраек обильна голубика. Основу растительного покрова составляют типичные для болот данного региона (сосново)-кустарничково-сфагновые, (сосново)-кустарничково-морошково-сфагновые на повышениях, шейхцерево-сфагновые, осоково-сфагновые в понижениях и пушицево-сфагновые на более-менее выровненных участках растительные сообщества.

Характеристика растительного покрова болота Медла-Пэв-Нюр (Усть-Пожегское). Болото расположено в Сыктывдинском районе Республики Коми, в 40 километрах на северо-запад от г. Сыктывкара (61°55'–61°57' с.ш., 50°12'–50°20' в.д. WGS 84). Площадь болота составляет 2790 га, средняя мощность торфа – 1.4 м, максимальная – 3.4 м. Болото располагается на второй надпойменной террасе, водоприемниками служат реки Пожег и Пычим. Торфяная залежь верхового, смешанного, переходного и низинного типов с зольностью от 23 до 35% (Торфяные..., 2000).

Болото «Медла-Пэв-Нюр» представляет собой сложную мезоолиготрофную болотную систему, состоящую из нескольких массивов, разделенных лесными грядами, островами и проточными топями (рис. 5.1). Болотные системы такого типа широко распространены в средней тайге, однако более характерны для ее северной части. Разнообразие специфических условий водно-минерального питания на болоте определяет видовой состав и ценотическое разнообразие растительных сообществ. На болоте выявлено более 70 таксонов растений, включая мохообразные (табл. 5.2). Некоторые из них имеют лекарственную ценность и применяются как в традиционной, так и народной медицине, другие – могут употребляться в пищу. Болото клюквенное, местами обильна морошка, на окрайке встречается голубика. Два вида – *Dactylorhiza maculata* (пальчатокоренник пятнистый) и *Platanthera bifolia* (любка двулистная) – включены в приложение к Красной книге Республики Коми (2009) как виды, нуждающиеся в постоянном контроле численности популяций.

Значительную площадь в пределах системы занимают верховые массивы и участки олиготрофного типа. Для верховых массивов характерны слабовыпуклая поверхность, вершина, которая не всегда четко выражена и смещена к периферии, а также пологий и более-менее обводненный склон. Смена растительных сообществ происходит от вершины болота к его окрайке и связана с изменением характера микрорельефа. Для вершины характерна кочковатая, крупнокочковатая поверхность и довольно однородный растительный

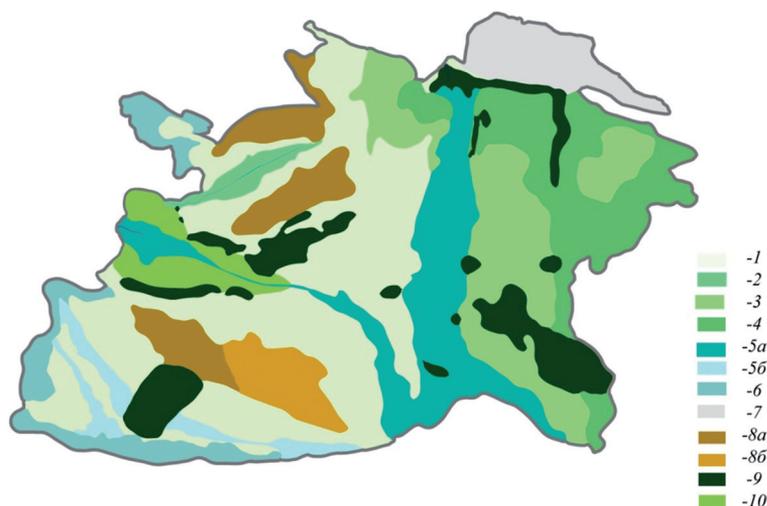


Рис. 5.1. Карта-схема растительности на болоте Медла-Пэв-Нюр (М 1:25 000).

Номера соответствуют сообществам: 1 – мезоолиготрофный кустарничково-сфагновый на кочках и травяно-сфагновый в топях; 2 – олиготрофный кустарничково-сфагновый на кочках и шейхцериево-сфагновый в понижениях; 3 – мезотрофный кустарничково-травяно-сфагновый; 4 – мезотрофный древесно-травяно-моховый; 5а – мезоевтрофная травяно-гипсовая проточная топь; 5б – мезотрофная травяно-моховая топь; 6 – древесно-разнотравно-моховая окраинная топь; 7 – сосново-кустарничково-сфагновый осушенный; 8а – олиготрофный сосново-кустарничково-пушицево-сфагновый; 8б – олиготрофный кустарничково-пушицево-сфагновый; 9 – древесно-кустарничково-зеленомошный минеральный лесной остров; 10 – мезотрофный осоково-сфагновый.

покров. Здесь преобладают сосново-кустарничково-сфагновые и сосново-кустарничково-морозково-сфагновые сообщества. Деревья в центральной части болота единичны или отсутствуют, часто представлены отдельно стоящими на повышениях микрорельефа соснами. Их высота варьирует от 0,3 до 5 м, в среднем составляет 2-3 м. В травяно-кустарничковом ярусе обильны типичные болотные кустарнички, такие как *Chamaedaphne calyculata*, *Ledum palustre*, *Andromeda polifolia*, *Vaccinium uliginosum* и *Rubus chamaemorus*, суммарное покрытие которых составляет от 40 до 75%. В формировании травяно-кустарничкового яруса также принимают участие *Drosera rotundifolia*, *Oxycoccus palustris*, *O. microcarpus*, *Carex pauciflora*, *Eriophorum vaginatum*. В напочвенном покрове кроме господствующего *Sphagnum fuscum* (ПП 70-100%) как примесь отмечены *Sphagnum magellanicum*, *S. angustifolium*, *S. russowii*, *Polytrichum strictum* и *Pleurozium schreberi*, проективное покрытие каждого из них редко превышает 1-10%. Межкочечные понижения занимают 10-15% участка, к ним приурочены кустарничково-пушицево-сфагновые сообщества. Они имеют сходный флористический состав с описанными ранее фитоценозами. Но в качестве содоминантов травяно-кустарничкового яруса выступают *Chamaedaphne calyculata*, *Andromeda polifolia* и *Eriophorum vaginatum* (ПП 30-50%). Возрастает участие *Oxycoccus palustris* и местами *Carex pauciflora*. Моховой покров мозаичный и сформирован несколькими видами сфагнов – *Sphagnum magellanicum*, *S. angustifolium*, *S. russowii*.

Микрорельеф склона кочковато-мочажинный, по мере удаления от вершины болота становится менее выраженным и постепенно переходит в коч-

коватый, кочковато-топяной или топяной. Растительный покров комплексный. На повышениях микрорельефа доминируют те же сообщества, которые характерны для центральной части: (сосново)-кустарничково-сфагновые и (сосново)-кустарничково-морозково-сфагновые. Основу полидоминантного травяно-кустарничкового яруса составляют болотные кустарнички и морошка, а также напочвенный покров из *Sphagnum fuscum*. Понижения микрорельефа занимают от 20 до 60% площади склона. Часто они обводнены, уровень воды находится на высоте $-10...+2$ см от поверхности мохового покрова. К мочажинам приурочены шейхцерево-сфагновые, к топям – шейхцерево-сфагновые, осоково-сфагновые и пушицево-сфагновые фитоценозы. Как правило, это маловидовые сообщества с сильно разреженным травяно-кустарничковым ярусом. В качестве доминанта выступает один из следующих видов: *Scheuchzeria palustris*, *Eriophorum vaginatum*, *Carex limosa*. Единично в понижениях произрастают *Drosera anglica*, *D. rotundifolia*, *Oxycoccus palustris* и *Andromeda polifolia*. Напочвенный покров преимущественно сплошной и образован *Sphagnum balticum*, реже *S. jensenii* (с. Йенсена) и *S. lindbergii*. В мочажинах центральной части напочвенный покров может быть деградирован, сфагновые мхи замещаются печеночными и зелеными (р. *Warnstorfia*). Нередко на склоне, особенно в его периферийной части, встречаются переходные элементы микрорельефа: небольшие мочажины и межкочечные понижения, низкие гряды и кочки, подушки. Растительный покров таких элементов также носит переходный характер.

Остальное пространство занято олиготрофными шейхцерево-сфагновыми, осоково-сфагновыми, пушицево-сфагновыми и мезотрофными вахтово-сфагновыми, осоково-сфагновыми фитоценозами с господством в травяно-кустарничковом ярусе *Scheuchzeria palustris*, *Carex limosa*, *Eriophorum vaginatum*, *Menyanthes trifoliata*, *Carex rostrata*. Обилие доминантов в зависимости от экологических условий и, в первую очередь, от уровня болотных вод варьирует от 5 до 40% для *Scheuchzeria palustris*, *Eriophorum vaginatum*, *Carex limosa* и от 20 до 80% – для *Menyanthes trifoliata*, *Carex rostrata*. Довольно часто эти виды произрастают совместно, но высоким обилием, как правило, характеризуется только один. В топи, кроме перечисленных таксонов, можно встретить и такие как *Oxycoccus palustris*, *Andromeda polifolia*, *Chamaedaphne calyculata*, *Drosera rotundifolia*, *Eriophorum polystachion*. Напочвенный покров сплошной, образован *Sphagnum balticum* или *S. fallax* (III 90-100%), как примесь отмечены *Sphagnum angustifolium*, *S. magellanicum*, *S. papillosum* (с. папиллозный), виды р. *Warnstorfia*.

К транзитным топям и ручьям, вытекающим с болота, приурочены мезоевтрофные кустарничково-травяно-моховые и травяно-моховые сообщества. Основу их ценофлоры составляют более требовательные к условиям водно-минерального питания растения: *Equisetum fluviatile*, *Menyanthes trifoliata*, *Comarum palustre*, *Eriophorum gracile*, *Carex chordorrhiza* (осока плетевидная), *C. paupercula* (осока заливная), *Pedicularis palustris* (мытник болотный), *Utricularia intermedia* (пузырчатка средняя) и др. Из мхов отмечены *Sphagnum riparium*, *S. subsecundum* (сфагнум однобокий), *S. fallax*, виды р. *Warnstorfia*, р. *Calliargon* и др. Большинство из этих видов при определенных условиях выступают в качестве доминанта или содоминанта фитоценоза (III 10-30%).

На окрайке и в узких перешейках между лесными островами древесный ярус образован *Pinus sylvestris* с примесью *Picea obovata* и *Betula pubescens*.

Сомкнутость крон составляет 0.2-0.3, высота деревьев – до 10 м. В более богатых минеральными веществами евтрофных топях, кроме *Pinus sylvestris*, произрастают *Betula pubescens* и *Picea obovata*. Деревья образуют разреженный невысокий (4-6 м) ярус. Они часто угнетены, особенно особи ели. Много сухостоя. Микрорельеф кочковатый, кочковато-топяной, кочковато-западинный. Повышения занимают от 5 до 70% площади участков, к ним приурочены поддоминантные кустарничково-сфагновые сообщества, в которых наряду с болотными произрастают и некоторые лесные виды: *Carex globularis*, *Vaccinium vitis-idaea*, *V. myrtillus*, *Maianthemum bifolium* (майник двулистный) и др. На повышениях микрорельефа господствуют *Sphagnum fuscum* (ПП 80-100%) или группа мхов из *Sphagnum magellanicum*, *S. angustifolium* и *S. fuscum* (ПП от 20 до 50%). Для межкочечных пространств, западин характерен мозаичный покров, встречаются кустарничково-осоково-сфагновые, осоково-сфагновые, пушицево-сфагновые фитоценозы. На окрайке значительные площади занимают фитоценозы с господством *Carex rostrata*, *C. lasiocarpa* в травяно-кустарничковом ярусе и *Sphagnum fallax* в напочвенном покрове. В качестве содоминантов могут выступать и эрикоидные кустарнички (*Chamaedaphne calyculata*, *Andromeda polifolia*, *Oxycoccus palustris*) и *Betula nana*.

Таким образом, из трех изученных нами болот наиболее высокое видовое и ценотическое разнообразие отмечено для болота «Медла-Пэв-Нюр», которое представляет собой сложную, сохранившуюся в естественном состоянии систему. В ее пределах распространены различные по экологическим условиям местообитания: верховые массивы, мезоевтрофные транзитные участки, окраинные минеротрофные топи, лесные острова и др. В растительном покрове встречаются гомогенные, мозаичные и комплексные участки, существенно различающиеся по условиям трофности и увлажнения, занятые сообществами различных ассоциаций.

5.2. Запасы органического вещества и углерода в напочвенном покрове болот среднетаежной подзоны

Запас органического вещества является одним из количественных показателей продуктивности фитоценозов болота, который определяется биологией доминирующих видов, условиями водно-минерального питания и теплообеспеченности. Исследования в Западной Сибири показали, что в таежной зоне чистая первичная продукция органического вещества растений в мохово-болотных экосистемах меняется от 355 до 1970 г м⁻² в год (Титлянова, 2007). При этом наименьшей продуктивностью характеризуются олиготрофные мочажины на плоскобугристых болотах в северной тайге. Общий запас растительного вещества на болотах таежной зоны варьирует от 6400 до 20 000 г м⁻², в котором 70-90% составляет мертмасса (Миронычева-Токарева и др., 2007). На низинных болотах Восточного Васюганья в наземной части фитоценозов накапливается 6.85 т га⁻¹, что более чем в два раза превышает наземную фитомассу грядово-мочажинных комплексов (Храмов, Валуцкий, 1977).

Методы исследований. Для количественной оценки запасов растительного вещества на каждом участке болота в напочвенном покрове вырезали монолиты площадью 20x20 см и высотой 30 см от поверхности мохового покрова в пяти повторностях для каждого элемента микрорельефа. Общее число отобранных образцов составило на болоте «Пычимское» – 15, «Медла-Пэв-Нюр» – 25, «Угьюм» – 30. Образцы разбирали по фракциям с учетом видовой

принадлежности растений, разделяя их на надземные органы, корни трав и кустарничков и моховой очес (Храмов, Валуцкий, 1977; Головацкая, 2009). Для определения содержания сухого вещества образцы высушивали в сушильном шкафу при температуре +105 °С. Запас органического вещества растений рассчитывали в граммах абсолютно сухого веса на квадратный метр проективного покрытия напочвенного покрова. Массовую долю углерода в органическом веществе доминирующих видов растений (табл. 5.3) определяли на анализаторе элементном EA 1110 (CHNS-O) (Италия, CE Instruments) в экоаналитической лаборатории Института биологии Коми НЦ УрО РАН.

Запасы растительного вещества и углерода в напочвенном покрове болота «Пычимское» определяли в фитоценозах, расположенных в центральной его части и на окрайке. В центральной части в понижении преобладают сообщества 1. **Eriophorum vaginatum – Sphagnum fallax + S. magellanicum**. Моховой ковер образуют *Sphagnum fallax* (ПП 80%) и *S. magellanicum* (ПП 20%). Из травянистых растений господствует *Eriophorum vaginatum*. Кустарнички представлены *Chamaedaphne calyculata*, *Andromeda polifolia*, *Oxycoccus palustris*, проективное покрытие которых редко превышает 5%. Единично отмечена *Drosera rotundifolia* во всех фитоценозах. Для микроповышений характерны сообщества 2. **(Pinus sylvestris) – Chamaedaphne calyculata + Rubus chamaemorus – Sphagnum fuscum**. Травяно-кустарничковый ярус на микроповышениях хорошо выражен, в нем доминируют *Chamaedaphne calyculata* (ПП 40%) и морошка (ПП 15%). Проективное покрытие остальных видов (*Vaccinium uliginosum*, *Andromeda polifolia*, *Ledum palustre*, *Drosera rotundifolia* и *Oxycoccus microcarpus*) варьирует от 1 до 5 и в сумме составляет 15%. Моховой покров образован *Sphagnum fuscum* (ПП 100%).

На окрайке болота растительный покров мозаичный, встречаются сообщества 3. **(Pinus sylvestris) – Carex rostrata – Sphagnum fallax**. В моховом покрове господствует *Sphagnum fallax* (80%), менее обильны *Sphagnum magellanicum*, *S. angustifolium*, *S. fuscum*, *Polytrichum strictum*, *P. commune* и *Pleurozium schreberi*. Такие виды мхов, как *Sphagnum fuscum* и *Pleurozium schreberi*, приурочены в основном к повышениям микрорельефа. В травяно-кустарничковом ярусе этого сообщества господствует мезотрофный вид осоки *Carex rostrata* (ПП 45%). Кроме осоки бутылчатой здесь произрастают *Eriophorum vaginatum*, *Carex pauciflora*, *C. paupercula* и некоторые кустарнички (ПП 0-5%). Обилие *Chamaedaphne calyculata*, *Andromeda polifolia*, *Oxycoccus palustris* увеличивается в пристволовых повышениях (ПП 10%).

Таблица 5.3
Содержание углерода (%)
в растениях верхового болота (n = 6)

Вид растения	Углерод, % от сухой массы
Надземные органы	
<i>Oxycoccus microcarpus</i>	49.8±0.6
<i>Andromeda polifolia</i>	51.6±0.4
<i>Chamaedaphne calyculata</i>	52.6±0.1
<i>Ledum palustris</i>	53.4±0.5
<i>Betula nana</i>	50.4±0.5
<i>Vaccinium uliginosum</i>	50.3±0.5
В среднем травы	51.4
<i>Scheuchzeria palustris</i>	46.6±0.3
<i>Eriophorum vaginatum</i>	46.2±0.3
<i>Carex rostrata</i>	45.7±0.1
В среднем кустарнички	46.2
<i>Sphagnum</i> sp.	44.8±0.2
Корни трав и кустарничков	49.7±0.9
Моховой очес	45.8±0.4

Примечание. Здесь и далее в таблицах показаны среднеарифметические значения и их стандартные отклонения.

Данные по запасу органического вещества в надземных органах растений напочвенного покрова указанных сообществ на болоте «Пычимское» приведены в табл. 5.4. Основной вклад в накопление органического вещества в ценозах играют сфагновые мхи, их доля в надземной фитомассе возрастает в межкочечных понижениях до 72%. По массе моховый оес в четыре-пять раз превышает зеленую часть мхов (табл. 5.5). Масса живых корней высших растений, отобранных в 30-сантиметровом слое торфа, также превышает массу их надземных органов в пушицево-сфагновых сообществах, а в кустарничково-сфагновых и осоково-сфагновых наблюдается обратная тенденция. В целом масса органического вещества в мохово-кустарничковых ценозах снижается от центра к окраине болота.

С учетом массовой доли углерода в органическом веществе растений (табл. 5.3) и фитомассы (табл. 5.5) рассчитали содержание углерода в 30-сантиметровом слое напочвенного покрова для трех типов сообществ (рис. 5.2). Количество углерода в растениях исследованных фитоценозов составило от 933 до 1213 г С м⁻², основная его масса (63-68%) сосредоточена в моховом оесе. Доля углерода в надземных органах не превышала 30%, а в корнях кустарничков и трав – 12% фитомассы.

Запасы растительного вещества и углерода в напочвенном покрове болота «Угьюм» определяли на трех участках. Первый участок был выбран в 2 км от края болота в олиготрофном грядово-мочажинном комплексе. К гряде приурочены сообщества 1. *Chamaedaphne calyculata* + *Rubus chamaemorus* –

Таблица 5.4

Масса органического вещества в надземных органах растений напочвенного покрова на болоте Пычимское, г м⁻²

Вид	№ сообщества		
	1	2	3
Кустарнички			
<i>Andromeda polyfolia</i>	12.91±2.73	25.65±11.4	0
<i>Oxycoccus palustris</i>	47.34±19.5	36.11±19.91	0
<i>Chamaedaphne calyculata</i>	21.61±2.4	155.30±25.59	33.56±9.18
<i>Vaccinium uliginosum</i>	0	55.52±3.83	0
Травы			
<i>Eryophorum vaginatum</i>	42.10±7.05	0	125.92±22.93
<i>Carex rostrata</i>	0	0	130.01±62.97
<i>Rubus chamaemorus</i>	0.60±0.10	19.81±8.00	0
Мхи			
<i>Sphagnum fallax</i>	215.96±66.70	0	288.89±87.47
<i>Sphagnum magellanicum</i>	106.41±58.77	87.90±29.58	17.48±4.2
<i>Sphagnum fuscum</i>	0	352.38±58.43	0

Таблица 5.5

Запас органического вещества растений в напочвенном покрове болота Пычимское, г м⁻²

№ сообщества	Надземные органы			Всего	Корни кустарничков и трав	Моховой оес	Всего
	Кустарнички	Травы	Мхи				
1	124.55	0	322.37	446.92	270.75	1633.08	2350.752
2	292.37	0	440.28	732.65	156.75	1719.5	2608.902
3	159.47	130	306.36	595.83	118.9	1291.25	2005.98

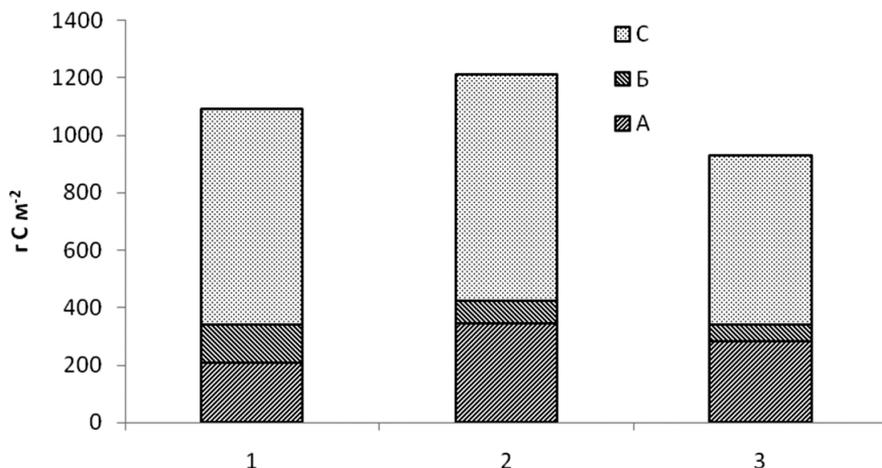


Рис. 5.2. Запасы углерода растительного вещества в 30-сантиметровом слое напочвенного покрова на болоте Пычимское. 1-3 – номера сообществ соответствуют табл. 2.3. А – надземные органы растений, Б – корни кустарничков и трав, С – моховой олес.

Sphagnum fuscum. В моховом покрове господствует *Sphagnum fuscum* (ПП 95%), как примесь отмечены *Sphagnum magellanicum*, *S. angustifolium* и *Polytrichum strictum*. В травяно-кустарничковом ярусе доминируют типичные болотные кустарнички *Chamaedaphne calyculata*, *Ledum palustre*, *Empetrum hermaphroditum* и морошка, их суммарное покрытие составляет более 50%. Обилие остальных видов (*Vaccinium uliginosum*, *Andromeda polifolia*, *Eriophorum vaginatum*, *Drosera rotundifolia* и *Oxycoccus microcarpus*) варьирует от 1 до 5 и в сумме составляет 20%. В мочажинах представлены сообщества 2. *Scheuchzeria palustris* – *Sphagnum balticum*, в которых моховый покров образован *Sphagnum balticum* (ПП 100%). Травяно-кустарничковый ярус разрежен и образован преимущественно *Scheuchzeria palustris*. Помимо шейхцерии в мочажинах встречаются *Carex limosa*, *Drosera anglica* и *Oxycoccus palustris*.

На втором участке, расположенном в 200 м от края болота, растительность комплексная кочковато- и грядово-мочажинная. На повышениях преобладают сообщества 3. *Chamaedaphne calyculata* – *Sphagnum angustifolium*, в которых моховой покров образован преимущественно *Sphagnum angustifolium* (ПП 80%), встречаются *S. magellanicum* и *S. fuscum*. В травяно-кустарничковом ярусе доминирует *Chamaedaphne calyculata* (ПП 50%). Кроме кассандры в этом фитоценозе произрастают *Vaccinium uliginosum*, *Andromeda polifolia*, *Ledum palustre*, *Drosera rotundifolia*, *Rubus chamaemorus*, *Eriophorum vaginatum* и *Oxycoccus microcarpus*, их суммарное покрытие составляет 30-35%. В мочажинах представлены сообщества 4. *Scheuchzeria palustris* – *Sphagnum balticum*, образованные небольшим числом видов растений. В моховом ярусе доминирует *Sphagnum balticum* (80%). Из кустарничков произрастают *Scheuchzeria palustris* (ПП 20%), а также *Chamaedaphne calyculata*, *Oxycoccus palustris*, *Drosera rotundifolia* *Eriophorum vaginatum*, суммарное покрытие которых составляет менее 5%.

Третий участок располагается на окрайке болота, характеризуется кочковатым микрорельефом. Повышения занимают около 30% площади участка

и приурочены к стволам деревьев. На них распространены полидоминантные сообщества 5. (***Pinus sylvestris***) – ***Chamaedaphne calyculata*** + ***Ledum palustre*** + ***Vaccinium uliginosum*** + ***Rubus chamaemorus*** – ***Sphagnum fuscum***. В моховом покрове господствует *Sphagnum fuscum* (ПП 80-90%), менее обильны *Sphagnum magellanicum*, *S. angustifolium*, *Polytrichum strictum* и *Pleurozium schreberi*. Травяно-кустарничковый ярус образован *Chamaedaphne calyculata*, *Vaccinium uliginosum*, *Andromeda polifolia*, *Ledum palustre*, *Drosera rotundifolia*, *Rubus chamaemorus*, *Eriophorum vaginatum* и *Oxycoccus microcarpus*. К межкочечным понижениям приурочены сообщества 6. ***Eriophorum vaginatum*** – ***Sphagnum fallax*** + ***S. Magellanicum***. Моховый ярус образован сфагновыми мхами – *Sphagnum fallax* и *S. Magellanicum*. В травяно-кустарничковом ярусе этих фитоценозов господствует *Eriophorum vaginatum* (ПП 35%). Кроме пушицы здесь встречаются те же виды кустарничков, которые произрастают на повышенных участках.

Согласно проведенным исследованиям, на болоте «Угъюм» в шести выбранных типах сообществ масса надземных и подземных органов растений в 30-сантиметровом слое напочвенного покрова составила 2622-2875 г м⁻² на микроповышениях и 1424-1752 г м⁻² в мочажинах (табл. 5.6, 5.7.). В надземной фитомассе доля мхов составила от 60 до 89%. В сформированных на кочках ценозах возрастала доля *Chamaedaphne calyculata* в запасе органического вещества надземных органов растений, достигая в некоторых случаях 50%.

Самый низкий запас органического вещества как в надземных, так и в подземных органах растений на болоте «Угъюм» выявлен в шейхцериево-сфагновых сообществах топи. Доля сфагнового очеса в фитомассе большинства сообществ имела близкие значения и составила 59-68%. По этому показателю отличалось кустарничково-сфагновое сообщество на участке, рас-

Таблица 5.6

Масса органического вещества в надземных органах растений напочвенного покрова на болоте Угъюм, г м⁻²

Вид	№ сообщества					
	1	2	3	4	5	6
Кустарнички						
<i>Andromeda polifolia</i>	35.15±18.00	0	56.43±13.98	0	28.86±5.89	13.36±3.34
<i>Chamaedaphne calyculata</i>	135.56±43.87	3.74±0.33	318.08±127.93	24.53±5.3	122.54±54.66	14.96±5.71
<i>Oxycoccus microcarpus</i>	17.37±6.72	2.76±1.01	14.70±6.08	8.81±4.20	8.14±4.22	15.31±4.28
<i>Vaccinium uliginosum</i>	0	0	0	0	22.58±10.45	0
<i>Ledum palustre</i>	0	0	0	0	4.83±2.42	0
<i>Empetrum hermaphroditum</i>	68.13±22.39	0	0	0	38.44±11.86	0
Травы						
<i>Rubus chamaemorus</i>	18.36±10.72	0	8.15±2.50	0	38.40±16.7	0
<i>Carex chordorrhiza</i>	0	0	0	1.80±0.9	18.83±9.46	2.25±1.50
<i>Drosera rotundifolia</i>	0	0	0	2.18±1.02	0	0
<i>Scheuchzeria palustris</i>	0	31.76±12.6	17.45±10.85	42.59±23.63	0	0
<i>Eriophorum vaginatum</i>	0	12.10±4.00	44.75±12,3	0	3.75±1.52	95.27±31.3
Мхи						
<i>Polytrichum strictum</i>	0	0	5.53±1.70	0	96.50±32.4	0
<i>Pleurozium schreberi</i>	0	0	3.68±1.65	0	0	0
<i>Sphagnum</i> sp.	372.59±63.78	411.90±113.3	259.65±53.64	260.25±27.78	317.85±77.49	304.35±45.41

Таблица 5.7

**Запас органического вещества
в растениях напочвенного покрова на болоте Угъюм, г м⁻²**

№ сообщ- щества	Надземные органы			Всего	Корни кустарничков и трав	Моховой очес	Всего
	Кустарнички	Травы	Мхи				
1	256.19	18.36	372.59	647.14	513.495	1715.0	2875.63
2	6.49	43.86	411.90	462.26	118.125	1172.19	1752.58
3	389.20	70.35	268.85	728.40	379.66	557.49	1665.55
4	33.34	46.57	260.25	340.15	102.72	981.65	1424.52
5	225.38	60.98	414.35	700.70	304.14	1617.72	2622.55
6	43.62	97.52	304.35	445.49	205.88	1046.18	1697.55

положенном в 200 м от края болота, в котором доля очеса в общей фитомассе не превысила 34%, а доля корней была значительно выше, чем в других фитоценозах. Причиной этому могло быть участие в данном типе сообществ разных видов кустарничков, прежде всего кассандры, обладающих развитой корневой системой.

Запас углерода в 30-сантиметровом слое напочвенного покрова на рассмотренных участках болота «Угъюм» не превысил 1400 г С м⁻², из них более половины сосредоточено в моховом очесе (рис. 5.3). Общее количество углерода в фитомассе возрастало в сообществах, произрастающих на повышенных элементах микрорельефа. Количество углерода в корнях трав и кустарничков не превысило 20% фитомассы.

Запасы растительного вещества и углерода в напочвенном покрове болота «Медла-Пэв-Нюр». Продуктивность фитоценозов определяли на участках, расположенных в центральной части болота и на окрайке. В центральной олиготрофной части, расположенной в 1.5 км от края болота, отмечается кочковатый микрорельеф с мозаичным растительным покровом. На этом участке коч-

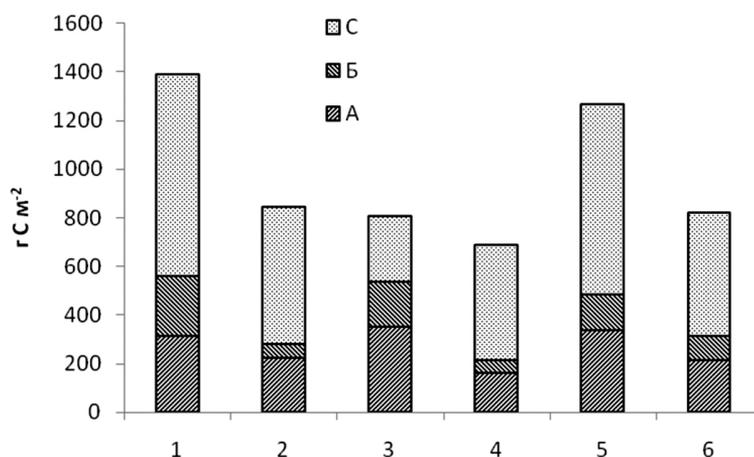


Рис. 5.3. Запас органического углерода в 30-сантиметровом слое напочвенного покрова на болоте «Угъюм». 1-6: номера сообществ соответствуют табл. 4; 5: А – надземные органы растений, Б – корни кустарничков и трав, С – моховой очес.

ки занимают 80% площади, на них преобладают сообщества **1. Chamaedaphne calyculata + Vaccinium uliginosum + Rubus chamaemorus – Sphagnum fuscum**. Из мхов преобладают *Sphagnum fuscum*, *S. magellanicum*, *S. angustifolium*, местами обильны *Aulacomnium palustre* и *Polytrichum strictum*. Травяно-кустарничковый ярус полидоминантный, образован *Rubus chamaemorus* и кустарничками, среди которых преобладают *Chamaedaphne calyculata*, *Andromeda polifolia*, *Vaccinium uliginosum* с общим проективным покрытием 10-30%. В межкочечных понижениях доминируют сообщества **2. Eriophorum vaginatum – Sphagnum fallax + Sphagnum angustifolium**. Наряду с *Eriophorum vaginatum* и сфагновыми мхами здесь встречаются виды, произрастающие на повышениях микро рельефа.

На втором участке, расположенном в 200 м от края болота, образцы отбирали в сообществах **3. Carex rostrata + Scheuchzeria palustris + Oxycoccus palustris – Sphagnum fallax**, занимающих обводненные межкочечные пространства. Из мхов здесь преобладает *Sphagnum fallax* (ПП 100%). В травяно-кустарничковом ярусе доминируют *Carex rostrata*, *Scheuchzeria palustris* и *Oxycoccus palustris* (ПП 10-15%). Участие *Chamaedaphne calyculata*, *Carex limosa*, *Andromeda polifolia* постоянно, но незначительно.

На окрайке болота олиготрофный участок характеризовался кочковатым микро рельефом и мозаичной растительностью. На кочках доминировали сообщества **4. Chamaedaphne calyculata + Vaccinium uliginosum + Betula nana – Sphagnum fuscum**. Моховой ярус образован *Sphagnum fuscum* (ПП 60-80%), встречаются *S. magellanicum*, *S. angustifolium*, *Aulacomnium palustre* и *Polytrichum strictum*. Травяно-кустарничковый ярус сложен болотными кустарничками *Chamaedaphne calyculata*, *Betula nana*, *Andromeda polifolia*, *Ledum palustre*, *Vaccinium uliginosum*, *Oxycoccus palustris*, ПП 5-20%. Межкочечные пространства обводнены, в них преобладают сообщества **5. Carex lasiocarpa + Carex rostrata + Menyanthes trifoliata – Sphagnum fallax**, в которых из мхов преобладает *Sphagnum fallax*. Травяно-кустарничковый ярус образован мезотрофными видами, такими как *Carex lasiocarpa*, *Carex rostrata* и *Menyanthes trifoliata*.

При исследовании указанных участков болота в учет попало 22 вида растений. Участие кустарничков в надземной фитомассе возрастало на микроповышениях, а трав – в понижениях (табл. 5.8). Наибольшая величина массы органического вещества растений в 30-сантиметровом слое напочвенного покрова отмечена в кустарничково-сфагновом сообществе на олиготрофном участке, а самые низкие – в осоково-сфагновом на облесенной окрайке (табл. 5.9). Доля мохового охеса в общей фитомассе напочвенного покрова также снижалась от открытой части (64%) к залесенной окрайке болота (29%). Запас углерода в верхнем 30-сантиметровом слое напочвенного покрова в кустарничково-сфагновом сообществе на открытом участке достигал 1700 г С м⁻², снижаясь к краю болота до 560 г С м⁻² (рис. 5.4).

Таким образом, на исследованных болотах возрастание запасов растительного вещества и углерода в напочвенном покрове отмечено на микроповышениях. Основная доля углерода растений на грядах и кочках принадлежит сфагновым мхам. Полученные нами величины запаса органического вещества в напочвенном покрове близки к результатам исследований других авторов. Так, на олиготрофном болоте в Карелии масса сухого растительного вещества составляет 1173 г м⁻² (Козловская и др., 1978). По мнению Т.Т. Ефремовой с соавторами (1994), масса растений в напочвенном покрове олиготрофных бо-

Таблица 5.8

Масса органического вещества в надземных органах растений напочвенного покрова на болоте Медла-Пэв-Нюр, г м⁻²

Вид растения	№ сообщества				
	1	2	3	4	5
Кустарнички					
<i>Chamedaphne calyculata</i>	289.11±90.45	68.17±2.70	0	0	0
<i>Andromeda polyfolia</i>	51.49±19.76	0	0	36.22±17.44	8.42±4.64
<i>Betula nana</i>	0	0	0	78.63±19.95	27.20±8.05
<i>Eriophorum vaginatum</i>	9.47±7.07	0	0	7.70±2.50	7.77±4.32
<i>Ledum palustre</i>	0	26.43±8.30	0	69.23±25.72	0
<i>Oxycoccus palustris</i>	0	16.77±9.35	35.73±8.77	75.06±36.85	20.11±10.18
<i>Oxycoccus microcarpus</i>	37.05±17.07	0	0	0	0
<i>Chamedaphne calyculata</i>	0	0	0	121.34±63.75	3.73±2.00
<i>Vaccinium uliginosum</i>	0	0	12.33±4.25	77.31±25.30	0
Травы					
<i>Carex paupercule</i>	0	2.01±0.97	26.99±3.46	17.81±5.20	7.03±2.30
<i>Carex lasiocarpa</i>	0	0	0	0	37.55±13.50
<i>Carex rostrata</i>	0	0	159.46±35.64	40.40±8.50	41.24±9.10
<i>Carex limoza</i>	0	0	25.10±12.00	0	30.03±10.30
<i>Scheuchzeria palustris</i>	0	56.03±21.47	0	19.95±5.38	0
<i>Menyanthes trifoliata</i>	0	0	0	14.31±7.20	12.01±6.21
Мхи					
<i>Pleurocium schreberii</i>	0	0	0	49.85	0
<i>Polytrichum strictum</i>	10.73	0	0	27.56	0
<i>Sphagnum</i> sp.	531.77±33.71	847.5±304.75	376±38.25	296.59±56.46	523±133.0

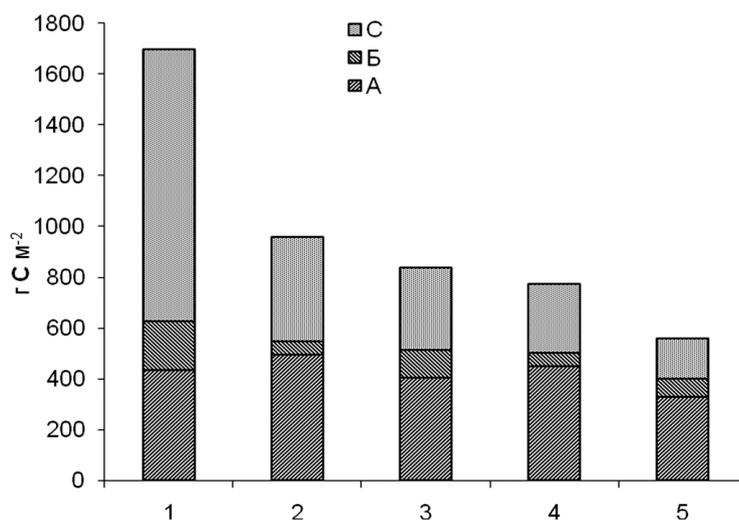


Рис. 5.4. Содержание углерода в 30-сантиметровом слое напочвенного покрова на болоте Медла-Пэв-Нюр. 1-5: номера ассоциаций в табл. 5.7. А – надземные органы растений, Б – корни кустарничков и трав, С – моховой очес.

Таблица 5.9

Запас растительного вещества в напочвенном покрове болота Медла-Пэв-Нюр, г м⁻²

Ассоциация	Надземные органы			Всего	Корни кустарничков и трав	Моховой олес	Всего
	Кустарнички	Травы	Мхи				
1	367.46	9.47	542.5	909.96	384.58	2334.83	3638.85
2	169.40	58.04	847.5	1016.90	106.50	900.67	2082.11
3	259.61	211.56	376	635.61	219.92	711.75	1778.83
4	457.78	100.17	374	831.78	103.33	589.67	1624.95
5	59.45	135.62	523	582.45	141.75	344.75	1204.57

лот Западной Сибири меняется от 2300 до 3100 г м⁻². Некоторыми авторами отмечено, что с повышением доли трав в составе болотного фитоценоза повышается доля подземных органов осок в продукции органического вещества (Титлянова, 2007). Согласно нашим исследованиям, доля корней трав и кустарничков возрастала в массе органического вещества лишь в некоторых сообществах растений, произрастающих в межкочечных понижениях.

5.3. Сезонная динамика вертикальных потоков CO₂ в приземном слое атмосферы на мезоолиготрофном болоте

Болотным экосистемам принадлежит важная роль в регуляции содержания диоксида углерода в атмосфере. В условиях изменения климата болотные системы северных широт сохраняют устойчивый положительный нетто-сток диоксида углерода из атмосферы (Вомперский, 1994). По данным прямых измерений количества органического вещества в растительных сообществах, ежегодная чистая первичная продукция (NPP) болот бореальной зоны оценивается в 150-600 г м⁻² (Косых и др., 2008). Для проведения измерений нетто-обмена углерода между экосистемами и атмосферой был разработан метод микровихревых пульсаций (eddy covariance). С 1990-х гг. он используется для оценки углеродопоглощающей функции болотных экосистем в научных исследованиях в Финляндии (Aurela et al., 2001), Гренландии (Soegaard et al., 1999), Канаде (Lafleur et al., 1997) и др. В России этот метод применяли для измерения стока эмиссии CO₂ в болотных и тундровых сообществах Европейской России (Arneht et al., 2002), Центральной и Восточной Сибири (Schulze et al., 2002; Arneht et al., 2006; Kutzbach et al., 2007; van der Molen et al., 2007) и Чукотки (Zamolodchikov et al., 2003; Замолодчиков и др., 2005). Согласно этим исследованиям, болота способны поглощать из атмосферы от 29.5 (Aurela et al., 2001) до 336 г CO₂ м⁻² год⁻¹ (Joiner et al., 1999). В определенных условиях они превращаются в источник CO₂ в атмосферу, и причиной этому могут стать изменение состояния растительного покрова (Shurpali et al., 1995; Lafleur et al., 1997), интенсивности ФАР (Arneht et al., 2002) и температуры почвы (Lloyd, Taylor, 1994). На территории Республики Коми исследования CO₂-газообмена на болотах таежной зоны проводились единично методом камер (Михайлов и др., 2011).

Цель настоящей работы состояла в характеристике нетто-обмена углекислого газа в приземном слое атмосферы на мезоолиготрофном болоте средней тайги с использованием метода микровихревых пульсаций.

Методы исследований. Измерения проводили в 2010-2012 гг. на болоте Медла-Пэв-Нюр, характеристика которого дана в разделе 5.1 данной моногра-

фии. Растительные сообщества на участке болота, на котором проводили измерения CO_2 -газообмена, относятся к трем основным типам:

1) олиготрофные сосново-кустарничково-пушицево-сфагновые сообщества, где на кочках доминируют виды *Pinus sylvestris*, *Andromeda polifolia*, *Chamaedaphne calyculata*, *Oxycoccus microcarpus*, *Rubus chamaemorus*, *Eriophorum vaginatum*, *Sphagnum angustifolium*, *Sphagnum fuscum*, *Polytrichum strictum*, а в мочажинах – *Andromeda polifolia*, *Chamaedaphne calyculata*, *Oxycoccus palustris*, *Eriophorum vaginatum*, *Sphagnum angustifolium*, *Sphagnum magellanicum*.

2) мезотрофные кустарничково-травяно-сфагновые сообщества с доминированием на кочках видов *Andromeda polifolia*, *Chamaedaphne calyculata*, *Ledum palustre*, *Oxycoccus microcarpus*, *Eriophorum vaginatum*, *Carex pauciflora*, *Sphagnum angustifolium*, *Sphagnum fuscum*, *Sphagnum magellanicum*, в мочажинах – *Carex lasiocarpa*, *Carex limosa*, *Carex rostrata*, *Menyanthes trifoliata*, *Scheuchzeria palustris*, *Chamaedaphne calyculata*, *Oxycoccus microcarpus*, *Eriophorum vaginatum*, *Andromeda polifolia*, *Sphagnum fallax*, *Sphagnum magellanicum*, *Warnstorfia exannulata*.

3) мезоевтрофная травяно-моховая проточная топь с кочковато-топяным микрорельефом с преобладанием на кочках таких видов, как *Andromeda polifolia*, *Chamaedaphne calyculata*, *Oxycoccus palustris*, *Equisetum fluviatile*, *Carex lasiocarpa*, *Sphagnum magellanicum*, *Sphagnum fuscum*, а на топяном ковре – *Oxycoccus palustris*, *Carex lasiocarpa*, *Eriophorum gracile*, *Menyanthes trifoliata*, *Pedicularis palustris*, *Utricularia intermedia*, *Sphagnum fallax*, *Sphagnum magellanicum*, *Warnstorfia exannulata*, мхи р. *Calliergon*.

В юго-западном направлении от измерительной системы находится мезоевтрофная травяно-моховая проточная топь и олиготрофные сосново-кустарничково-пушицево-сфагновые сообщества, а с северо-восточной стороны – олиготрофные и мезотрофные участки (рис. 5.5).

Измерительная система включала стандартный комплект оборудования, состоящий из ультразвукового анемометра и инфракрасного газоанализатора (Moncrieff et al., 1997). В 2010-2011 гг. использовали систему закрытого типа. Направление и скорость ветра в трех проекциях, а также акустическую температуру воздуха измеряли с помощью ультразвукового анемометра (Solent R3, Gill Instruments Ltd., Великобритания), установленного на высоте 4.23 м от поверхности болота (без учета снежного покрова). Концен-

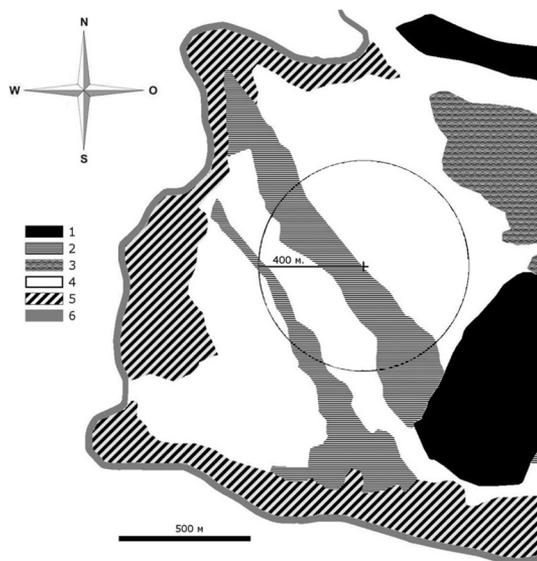


Рис. 5.5. Схема расположения измерительной системы на болоте Медла-Пэв-Нюр.

1 – минеральный лесной остров; 2 – мезоевтрофная травяно-моховая проточная топь; 3 – олиготрофные сосново-кустарничково-пушицево-сфагновые сообщества; 4 – мезотрофные кустарничково-травяно-сфагновые сообщества; 5 – окраинная топь; 6 – граница болота.

трацию диоксида углерода регистрировали инфракрасным газоанализатором (Li-7000, Li-Cor Inc., США). Пробы воздуха отбирали из точки, располагающейся на 10 см ниже центра анемометра и при помощи насоса по полиэтиленовой трубке перекачивали в камеру газоанализатора.

Данные с измерительных приборов загружали с частотой 20 Гц и сохраняли в виде файлов. Среднюю величину NEE – чистого экосистемного обмена диоксида углерода, представляющего разницу между величинами валовой первичной продукции экосистемы (P_{gross}) и суммарного дыхания ее компонентов (R_{eco}) – рассчитывали за 30-минутные временные интервалы с использованием программного обеспечения **EdiRe (R. Clement, Университет Эдинбурга, Великобритания)**.

С мая по сентябрь 2012 г. измерения проводили системой открытого типа. Она включала ультразвуковой анемометр для измерения скорости ветра в трех проекциях и акустической температуры воздуха (**CSAT3, Campbell Scientific Inc., США**) и инфракрасный газоанализатор открытого типа (Li-7500A, Li-Cor Inc., США). Эти приборы были установлены на высоте 3.93 м. Высота расположения приборов обеспечивала покрытие пространства радиусом ~400 м от места расположения системы (рис. 5.5). Регистрация данных происходила с частотой 20 Гц. Их обработку производили в программном обеспечении **EddyPro (Li-Cor Inc., США)**.

Программный анализ включал математическую и статистическую обработку первичных данных. Для корректного расчета указывали информацию о высоте расположения приборов над поверхностью болота и расстоянии между центральной частью рабочего пространства анемометра и точкой забора воздуха для газового анализа (рабочим пространством газоанализатора). При анализе учитывали такие показатели, как скорость и направление ветра в трех проекциях, температура воздуха, измеренная анемометром, средние значения концентрации CO_2 и H_2O за период измерений, атмосферное давление, температура и скорость потока воздуха в рабочей камере газоанализатора. Обработка данных включала также анализ и нивелировку временной разницы между измерениями скорости ветра и концентрации CO_2 для каждого 30-минутного временного периода.

Статистическую обработку первичных данных проводили согласно методике (Vickers, Mahrt, 1997). Она включала нахождение физически значимых пределов разброса, выявление и удаление значений, вызванных случайными электронными помехами, возникающими вследствие скопления воды на преобразователях ультразвукового анемометра. Из общего массива также удаляли данные со слабой дисперсией, возникающей вследствие низкой турбулентности атмосферы или технических проблем. Учитывали асимметрию и эксцесс, которые представляют собой отклонения от среднего, находящегося за пределами нормального физического ожидания.

В результате получали среднюю величину потока диоксида углерода за 30-минутный период, парциальное давление (e), величины скрытого (LE) и ощутимого (H) теплового потока, а также информацию, позволяющую оценить условия турбулентности в пограничном с поверхностью болота слое атмосферы (u^*), стабильность атмосферных условий в момент измерения (z/L) и время, за которое сменяется порция воздуха в рабочей камере газоанализатора (τ).

Была проведена корректировка первичных данных о потоках CO_2 в связи с тем, что измерительной системой ограничена корректная фиксация низких

частот воздушного потока вследствие их затухания из-за возможного влияния на них расстояния между приборами и спектральных характеристик используемых инструментов (Moore, 1986; Moncrieff et al., 1997), а также с учетом влияния тепловых течений и содержания водяного пара на плотность воздушного потока (Webb et al., 1980; Burba et al., 2012).

После программного анализа полученных величин *NEE* выявляли ошибки измерений, которые могли возникнуть по нескольким причинам: 1) из-за неустойчивой работы системы, калибровки, замены фильтров и деталей; 2) недостаточного перемешивания воздуха при низкой турбулентности ночью или при отсутствии ветра; 3) непостоянства факторов среды (Foken, Wichura, 1996). Не отвечающие параметрам проверки значения потоков CO_2 не учитывали при дальнейшей обработке данных.

Параметры микроклимата (температуру и влажность воздуха, интенсивность фотосинтетически активной радиации (ФАР), падающей и отраженной солнечной радиации) регистрировали автоматической метеостанцией (Campbell Scientific Inc., США).

Результирующий поток диоксида углерода (*NEE*) разделяли на дыхание экосистемы (R_{eco}) и gross-фотосинтез (P_{gross}) по общепринятой методике (Lloyd, Taylor, 1994; Reichstein et al., 2005; Lasslop et al., 2010). Для расчета интенсивности дыхания экосистемы использовали уравнение:

$$R_{eco} = R_{10} \cdot \exp^{308.6 \cdot \left[\left(\frac{1}{56.02} \right) - \left(\frac{1}{T_{surf} + 46.02} \right) \right]}, \quad (5.1)$$

где R_{eco} – дыхание экосистемы ($\text{мкг м}^{-2}\text{с}^{-1}$), R_{10} – дыхание экосистемы при температуре воздуха 10°C ($\text{мкг м}^{-2}\text{с}^{-1}$), T_{surf} – температура поверхности почвы ($^\circ\text{C}$). Коэффициент R_{10} рассчитывали отдельно для каждого периода измерений, используя регрессионное уравнение зависимости между измеренными значениями экосистемного дыхания ночью и температуры поверхности почвы в каждый момент измерений.

Значение gross-фотосинтеза вычисляли исходя из выражения (5.2):

$$P_{gross} = NEE - R_{eco}.$$

Баланс вертикальных потоков диоксида углерода за сутки рассчитывали по формуле:

$$NEE_{сут} = 0.0036 \cdot [(NEE_{ср.день} \cdot N_{день}) + (NEE_{ср.ночь} \cdot N_{ночь})], \quad (5.2)$$

где $NEE_{сут}$ – суточный экосистемный обмен вертикальных потоков диоксида углерода ($\text{г м}^{-2}\text{сут}^{-1}$), $NEE_{ср.день}$ – средний экосистемный обмен вертикальных потоков диоксида углерода за период суток, при котором значения ФАР превышали $20 \text{ мкмоль м}^{-2}\text{с}^{-1}$ (день), $NEE_{ср.ночь}$ – средний экосистемный обмен вертикальных потоков диоксида углерода за период суток, при котором значения ФАР были меньше $20 \text{ мкмоль м}^{-2}\text{с}^{-1}$ (ночь), $N_{день}$ – продолжительность светового периода (час), $N_{ночь}$ – продолжительность темного периода (час).

Статистический анализ выполнен с использованием программного обеспечения STATISTICA (лицензия Института биологии Коми ИЦ УрО РАН). Корреляционный и регрессионный анализ проведен для параметрических показателей микроклимата и CO_2 -газообмена. Для характеристики взаимосвязи между этими переменными использовали r – коэффициент корреляции Пирсона. Интерпретация значений коэффициента корреляции сделана по шкале Чеддока.

Суточная и сезонная динамика CO_2 -газообмена в системе «болото–атмосфера». В апреле после таяния снега и оттаивания верхних горизонтов почвы незначительные суточные колебания величины NEE могли быть связаны с возобновлением после зимы процессов CO_2 -газообмена у растений, прежде всего, сфагновых мхов (рис. 5.6). В дневное время отмечали слабую эмиссию ($8.6 \text{ мкг м}^{-2}\text{с}^{-1}$) или слабый сток CO_2 ($-9.6 \text{ мкг м}^{-2}\text{с}^{-1}$), однако в целом в этот период преобладало выделение CO_2 с поверхности болота в атмосферу со средней скоростью $1.3 \text{ мкг м}^{-2}\text{с}^{-1}$. Ночью, несмотря на низкую положительную температуру воздуха, скорость выделения диоксида углерода с поверхности болота возрастала и составила в среднем $27.6 \text{ мкг м}^{-2}\text{с}^{-1}$. В апреле величина NEE за сутки достигала 1.08 г м^{-2} . Полученные нами значения среднесуточной NEE весной имеют большое сходство с приведенными в литературе данными для мезотрофного болота таежной зоны на территории Финляндии (Laurila et al., 2001; табл. 5.10). Более высокие значения суточного обмена CO_2 между болотом и атмосферой ($1.8 \text{ г м}^{-2}\text{сут}^{-1}$) весной были установлены на олиготрофном болоте подзоны южной тайги в Тверской области (Arneth et al., 2002; табл. 5.10).

Некоторые авторы (Aurela et al., 2001) резкое увеличение эмиссии CO_2 в экосистемах Субарктики после схода снега, до начала активной вегетации растений, связывают с усилением почвенного дыхания на фоне низкого фотосинтеза растений в этот период или физической диффузией диоксида углерода, накопленного в толще торфа за зиму (Nordstroem et al., 2001). Переключение эмиссии CO_2 на сток в болотной экосистеме весной происходит за очень короткий период, в течение нескольких дней, и связано с началом роста фотосинтезирующих органов травянистых растений и кустарничков (Arneth et al., 2002). Согласно нашим наблюдениям, продолжительность и скорость поглощения диоксида углерода болотом в течение суток значительно возрастала в середине мая (рис. 5.7). В это время величина NEE составила $-30.4 \text{ мкг м}^{-2}\text{с}^{-1}$, а суточный баланс в конце мая достиг -0.4 г м^{-2} . Средняя скорость эмиссии CO_2 в ночное время в мае с повышением температуры воздуха и почвы также постепенно возрастала, среднее значение этого показателя за месяц составило $58.3 \text{ мкг м}^{-2}\text{с}^{-1}$.

Скорость поглощения диоксида углерода болотными сообществами постепенно увеличивалась с мая по июнь. Наиболее высокие за вегетационный сезон значения NEE ($-444.7 \text{ мкг м}^{-2}\text{с}^{-1}$) отмечены в июле, в период максимальной интенсивности солнечной радиации и развития растительного покрова

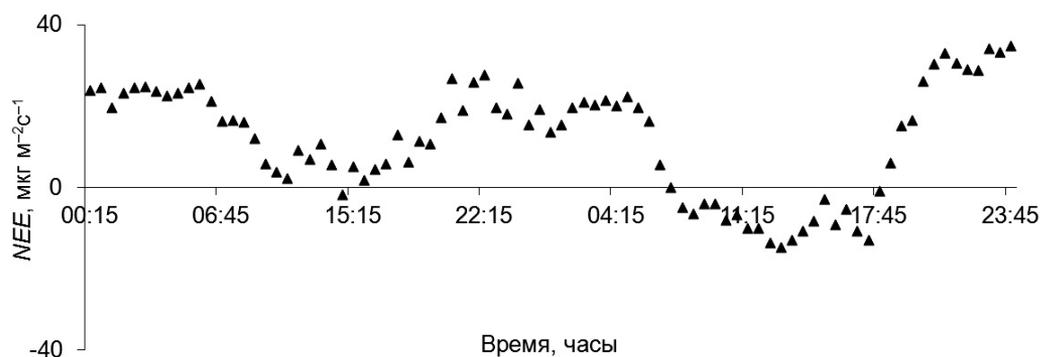


Таблица 5.10

Оценки NEE в болотных экосистемах северного полушария

Тип болота, район исследований	Период без снежного покрова до начала вегетации	Начало вегетационного периода	Середина вегетационного периода	Окончание вегетационного периода	Период со снежным покровом	Автор
Мезотрофное болото в районе равнины Закенберг, Северо-Восточный Гренландский национальный парк, Гренландия (74°28' с.ш. 20°34' з.д.)	<p>Нет данных</p> <p>День: 0.04 мг м⁻²с⁻¹ (40 мкг м⁻²с⁻¹); Ночь: 0.1 мг м⁻²с⁻¹ (100 мкг м⁻²с⁻¹)</p>	Нет данных	<p>День: -0.4 мг м⁻²с⁻¹ (-400 мкг м⁻²с⁻¹); Ночь: 0.05 мг м⁻²с⁻¹ (50 мкг м⁻²с⁻¹); Суточный баланс: -10...-12 г м⁻²сут⁻¹</p>	<p>День: -0.11 мг м⁻²с⁻¹ (-110 мкг м⁻²с⁻¹).</p>	<p>Средняя скорость за сутки: 0.005 мг м⁻²с⁻¹ (5 мкг м⁻²с⁻¹)</p> <p>Суточный баланс: 0.41 г м⁻²сут⁻¹</p>	Nordstroem et al., 2001
Олиготрофное болото Зотино, Центральная Сибирь (60°45' с.ш. 89°23' в.д.)	Нет данных	Нет данных	<p>Средняя скорость за сутки: -4.0...-5.0 мкмоль м⁻²с⁻¹ (-176...-220 мкг м⁻²с⁻¹)</p>		<p>День: <0.5 мкмоль м⁻²с⁻¹ (<22 мкг м⁻²с⁻¹)</p>	Ameth et al., 2002
Олиготрофное болото Федоровское Европейский центр России (56°27' с.ш. 32°55' в.д.)	<p>Суточный баланс: 40 мкмоль м⁻²сут⁻¹ (1.8 г м⁻²сут⁻¹)</p>	Нет данных	<p>Суточный баланс: -120...-190 мкмоль м⁻²сут⁻¹ (-5.3...-8.4 г м⁻²сут⁻¹) Средняя скорость за сутки: -6.0...-7.0 мкмоль м⁻²с⁻¹ (-264...-308 мкг м⁻²с⁻¹)</p>	<p>Суточный баланс: 10 мкмоль м⁻²сут⁻¹ (0.4-0.9 г м⁻²сут⁻¹)</p>	<p>Суточный баланс: 20 мкмоль м⁻²сут⁻¹ (0.9 г м⁻²сут⁻¹) День: <0.5 мкмоль м⁻²с⁻¹ (<22 мкг м⁻²с⁻¹)</p>	Ameth et al., 2002
Мезотрофное болото, Северная Финляндия (69°08' с.ш. 27°17' в.д.)	<p>Средняя скорость за сутки: 0.03 - 0.05 мг м⁻²с⁻¹ (30 - 50 мкг м⁻²с⁻¹);</p>	<p>Суточный баланс: 2.0 - 3.0 г м⁻²сут⁻¹</p>	<p>Суточный баланс: -120...-160 мкмоль м⁻²сут⁻¹ (-5.3...-7.0 г м⁻²сут⁻¹) День: 0.2 - -0.25 мг м⁻²с⁻¹ (-200 - -250 мкг м⁻²с⁻¹); Ночь: 0.08 - 0.15 мг м⁻²с⁻¹ (80 мкг м⁻²с⁻¹);</p>	<p>Суточный баланс: 40 мкмоль м⁻²сут⁻¹ (1.8 г м⁻²сут⁻¹) День: -0.035 мг м⁻²с⁻¹ (-35 мкг м⁻²с⁻¹); Ночь: 0.06 мг м⁻²с⁻¹ (60 мкг м⁻²с⁻¹); Суточный баланс: 2.0 - 3.0 г м⁻²сут⁻¹</p>	<p>Суточный баланс: 20 мкмоль м⁻²сут⁻¹ (0.9 г м⁻²сут⁻¹) Средняя скорость за сутки: 0.02 мг м⁻²с⁻¹ (20 мкг м⁻²с⁻¹);</p>	Aurela et al., 2001
Ала-болото, Северная Финляндия (69°08' с.ш. 27°17' в.д.)	<p>Средняя скорость за сутки: 0.02 мг м⁻²с⁻¹ (20 мкг м⁻²с⁻¹)</p>	Нет данных	<p>День: -0.16...-0.24 мг м⁻²с⁻¹ (-160...-240 мкг м⁻²с⁻¹) Ночь: -0.036...-0.042 мг м⁻²с⁻¹ (-36...-42 мкг м⁻²с⁻¹)</p>	Нет данных	<p>Средняя скорость за сутки: 0.006 мг м⁻²с⁻¹ (6 мкг м⁻²с⁻¹)</p>	Laurila et al., 2001

Окончание табл. 5.10

Тип болота, район исследований	Период без снежного покрова до начала вегетации	Начало вегетационного периода	Середина вегетационного периода	Окончание вегетационного периода	Период со снежным покровом	Автор
Олиготрофное болото, юго-восток Канады (45°24' с.ш. 75°30' з.д.)	Нет данных	Нет данных	День: -0.31...-0.37 мг м ⁻² с ⁻¹ (-3.10...-370 мкг м ⁻² с ⁻¹) Ночь: 0.08 мг м ⁻² с ⁻¹ (80 мкг м ⁻² с ⁻¹) Суточный баланс: -2.8 г м ⁻² сут ⁻¹	Суточный баланс: 1.1 г м ⁻² сут ⁻¹	Средняя скорость за сутки: 0.012 мг м ⁻² с ⁻¹ (12 мкг м ⁻² с ⁻¹)	Lafleur et al., 2001
Мезоолиготрофное болото Медла-Пэв-Нюр (Усть-Поже), Европейский Северо-Восток России (61°56' с.ш. 50°13' в.д.)	Нет данных	Нет данных	День: -3.7...-8.1 мкг м ⁻² с ⁻¹ (-30.4 мкг м ⁻² с ⁻¹) Ночь: 23.3 мкг м ⁻² с ⁻¹ Суточный баланс: 1.08 г м ⁻² сут ⁻¹	День: -103.0...-152.7 мкг м ⁻² с ⁻¹ (-65.7...-121.8 мкг м ⁻² с ⁻¹) Суточный баланс: -6.1...-6.3 г м ⁻² сут ⁻¹	Суточный баланс: 1.1 г м ⁻² сут ⁻¹ Средняя скорость за сутки: 12.7 мкг м ⁻² с ⁻¹	Настоящая работа

(рис. 5.8). Довольно близкие к этим величинам результаты были получены ранее на мезотрофном болоте в Гренландии (Nordstroem et al., 2001; табл. 5.10). Ночная эмиссия CO₂ в течение лета также возрастала, ее скорость достигла в июне 96.8, в июле – 121.8 мкг м⁻²с⁻¹, а в августе она постепенно снижалась. Значения суточного нетто-обмена CO₂ между болотом и атмосферой в эти месяцы соответствовали -3.9, -6.3 и -6.1, а в среднем за летний период составили -5.43 г м⁻². Эта величина более чем в три раза выше суточного NEE, полученного для олиготрофного болота подзоны северной тайги на территории Канады (den Hartog et al., 1994), однако она сопоставима с результатами измерений CO₂ на олиготрофных болотах подзоны средней тайги в Центральной Сибири и подзоны южной тайги в Тверской области (Schulze et al., 1999; Arneeth et al., 2002; табл. 5.10).

Сохранение относительно высоких значений скорости дневного стока в первой половине августа 2012 г. можно объяснить сохранением благоприятного температурного режима на болоте, когда температура на его поверхности достигала +25 °С. Сокращение ночной эмиссии CO₂ в конце августа, вероятно, было связано со снижением температуры воздуха и на поверхности почвы до +13°С. Однако некоторые авторы отмечают наиболее высокую суточную эмиссию диоксида углерода (2.5 г CO₂ м⁻²сут⁻¹) на болоте в начале и конце вегетационного периода (Aurela et al., 2002).

На болоте Медла-Пэв-Нюр окончание вегетационного сезона характеризовалось общим снижением дневного поглощения и ночного выделения CO₂. Нетто-обмен CO₂ за сутки в сентябре был с положительным знаком (2.7 г м⁻²). Установленная нами в сентябре величина NEE близка к результатам, полученным для мезотрофного болота на севере Финляндии (Aurela et al., 2001; табл. 5.10). Однако она в три-семь раз превышает нетто-обмен на олиготрофном болоте подзоны средней тайги в Центральной Сибири и в 1.5 раза больше результатов, полученных на олиготрофном болоте подзоны южной тайги в Тверской области (Arneeth et al., 2002; табл. 5.10).

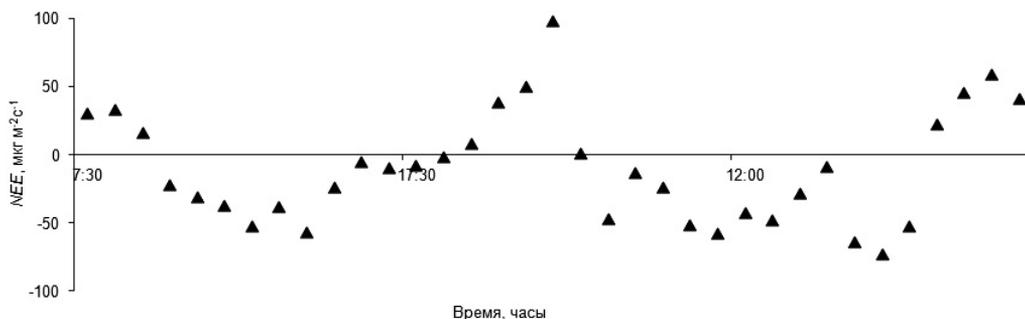


Рис. 5.7. Суточная динамика NEE в экосистеме болота Медла-Пэв-Нюр 18-19 мая 2012 г.

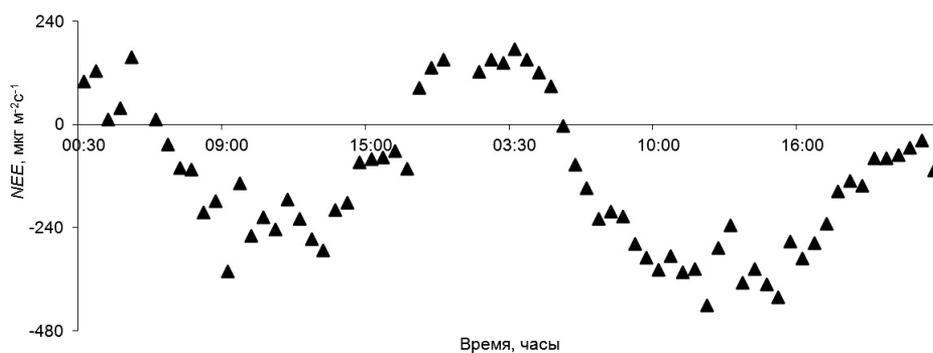


Рис. 5.8. Суточная динамика NEE в экосистеме болота Медла-Пэв-Нюр 16-17 июля 2012 г.

Переход от стока к эмиссии в болотных экосистемах осенью в период завершения вегетации растений происходит в Канаде в середине августа, в подзоне южной тайги в Тверской области и подзоне средней тайги в Центральной Сибири – в середине сентября (Lafleur et al., 1997; Arneth et al., 2002). Согласно нашим наблюдениям, в октябре еще происходило поглощение CO_2 из атмосферы растительностью (рис. 5.9). Величина нетто-обмена в дневное время суток составила в среднем $-16.2 \text{ мкг м}^{-2}\text{с}^{-1}$, в ночные – 30.6 . В целом за сутки суммарная эмиссия диоксида углерода превышала сток, а величина *NEE* достигала $1.09 \text{ г м}^{-2} \text{ сут}^{-1}$, что в два раза ниже, чем было отмечено в сен-

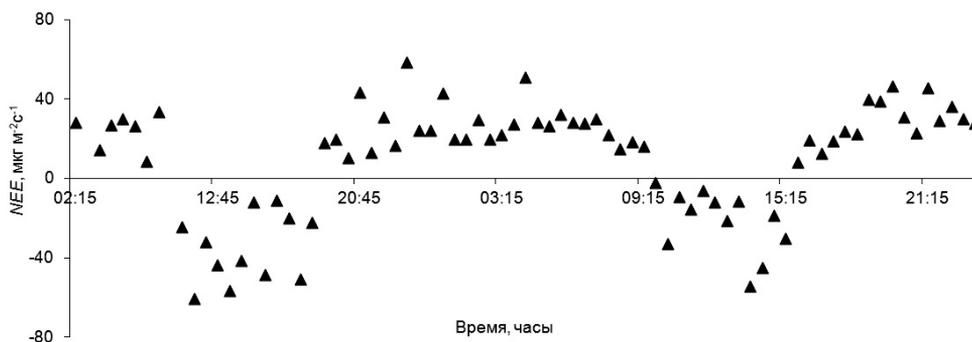


Рис. 5.9. Суточная динамика NEE в экосистеме болота Медла-Пэв-Нюр 3-4 октября 2012 г.

тябре. Полученные нами средние величины нетто-обмена CO_2 в осенние месяцы согласуются с данными, установленными ранее для аапа болот таежной зоны на территории Финляндии (Aurela et al., 2001; табл. 5.10), верховых болот в районе смешанных лесов штата Миннесота (США, Shurpali et al., 1995; табл. 5.10), в подзоне южной тайги в Тверской области и подзоне средней тайги в Центральной Сибири (Arneeth et al., 2002; табл. 5.10).

С появлением снежного покрова в ноябре потоки CO_2 снижались, но не прекращались, что было отмечено ранее другими авторами, исследовавшими болота таежной зоны (Arneeth et al., 2002). В этот период в течение суток преобладала эмиссия CO_2 , однако регистрировали единичный сток в некоторые часы в течение дня. В этот период функцию фотоассимиляции в экосистеме болота могли выполнять сфагновые мхи на кочках, которые имеют более широкий температурный и световой оптимум и способны фотосинтезировать и при температуре воздуха, близкой к нулевому значению (Lafleur et al., 2001; Попов и др., 2006).

В зимний период, несмотря на значительную толщину снежного покрова (до 0.5 м), эмиссионный поток CO_2 с поверхности болота продолжался (рис. 5.10). Его скорость составила в среднем $12.7 \text{ мкг м}^{-2}\text{с}^{-1}$, а величина NEE за сутки достигла 1.1 г м^{-2} . Эти величины оказались более чем в два раза выше результатов, полученных ранее для мезотрофных болот на северо-востоке Гренландии (Nordstroem et al., 2001; табл. 5.10) и в таежной зоне на территории Финляндии (Laurila et al., 2001; табл. 5.10). Однако они близки к данным, приведенным для олиготрофных болот смешанных лесов на территории Швеции (Lund et al., 2007; табл. 5.10) и таежной зоны на территории Канады (Lafleur et al., 2001; табл. 5.10).

Таким образом, на мезоолиготрофном болоте Медла-Пэв-Нюр осенью, зимой и ранней весной в течение суток эмиссия CO_2 в атмосферу преобладает над его стоком. Переключение с эмиссии на сток в болотной экосистеме наблюдается в мае, когда начинается рост надземных органов кустарничков и трав. Максимальные величины стока наблюдали в июле и августе, в период наибольшего развития зеленой массы растений.

Осенний переход болота от стока к выделению CO_2 совпадал с началом отмирания травянистых растений, опадом листьев кустарничков. Поэтому в этот период усиление эмиссионного потока диоксида углерода могло быть связано с разложением «свежего» органического вещества (Попов и др., 2006). Эмиссионный процесс не прекращался с установлением снежного покрова и продолжался на болоте в течение всей зимы.

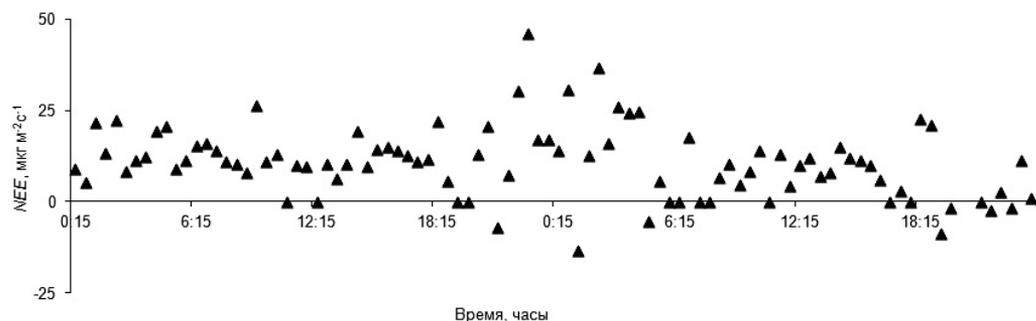


Рис. 5.10. Суточная динамика NEE в экосистеме болота Медла-Пэв-Нюр 23-24 ноября 2010 г.

Влияние экологических факторов на CO_2 -газообмен в системе «болото–атмосфера». На скорость поглощения и выделения CO_2 могут оказывать влияние такие факторы, как изменение состояния растительного покрова (Lafleur et al., 1997), интенсивность ФАР (Arneeth et al., 2002), температура почвы (Lloyd, Taylor, 1994). **В разные сезоны года степень воздействия этих факторов на вертикальные потоки углекислого газа может меняться.** С помощью корреляционного и регрессионного анализа мы попытались установить зависимость скорости CO_2 -газообмена между болотом и атмосферой от основных экологических факторов в суточной динамике и в целом за вегетационный сезон.

Нами установлено, что суточный поток CO_2 не связан с микроклиматическими факторами на болоте в зимние месяцы. Однако некоторыми авторами (Aurela et al., 2004; Lund et al., 2007) была выявлена тенденция к усилению эмиссии CO_2 с поверхности болота зимой с повышением температуры воздуха.

Умеренная корреляционная зависимость весной и высокая корреляционная зависимость летом и осенью нами установлена для величины NEE и интенсивности ФАР в дневное время суток (табл. 5.11). Установлено, что взаимосвязь потока углекислого газа и интенсивности ФАР лучше всего описывается логарифмической функцией. Летом переход от эмиссии к стоку CO_2 отмечали при ФАР 70 мкмоль $\text{м}^{-2}\text{с}^{-1}$ (рис. 5.11). В осенний период, когда некоторые кустарнички и мхи еще сохраняли способность фотосинтезировать, положительный баланс потока CO_2 наблюдали при ФАР больше 90 мкмоль $\text{м}^{-2}\text{с}^{-1}$. Весной переход от эмиссии к стоку отмечали при величине ФАР более 160 мкмоль $\text{м}^{-2}\text{с}^{-1}$. Это могло быть связано с частичным разрушением пигментов в листьях зимнезеленых кустарничков и мхов в зимний период, что ограничивало их фотосинтетическую способность в области низкой интенсивности солнечной радиации. Снижение содержания хлорофилла в листьях хвойных растений и зимнезеленых кустарничков в лесных сообществах таежной зоне было описано ранее (Яцко и др., 2009).

Функциональным состоянием листьев могут быть определены и межсезонные различия в величине P_{gross} в сообществах растений на болоте (рис. 5.12). Нами установлено, что при одинаковых значениях ФАР gross-фотосинтез болотных растений летом идет интенсивнее почти в восемь раз, чем весной, и в три раза интенсивнее, чем осенью. Самый высокий коэффициент корреляции P_{gross} и ФАР в течение дня отмечен в осенний период (табл. 5.11).

Исследования, проведенные в тундровых сообществах, показали тесную зависимость gross-фотосинтеза и дыхания экосистемы от температуры по-

Таблица 5.11

Корреляционная зависимость CO_2 -газообмена между болотом и атмосферой от температуры поверхности почвы и интенсивности ФАР в разные периоды года

Показатель	18-19 апреля		16-17 июля		3-4 октября	
	$T_{пов}$	ФАР	$T_{пов}$	ФАР	$T_{пов}$	ФАР
NEE (в дневное время)	$r = 0.10$ $p = 0.52$	$r = 0.45$ $p = 0.002$	$r = 0.60$ $p = 0.000$	$r = 0.79$ $p = 0.000$	$r = 0.60$ $p = 0.000$	$r = 0.86$ $p = 0.000$
R_{eco} (в ночное время)	$r = 0.82$ $p = 0.000$	–	$r = 0.76$ $p = 0.007$	–	$r = 0.77$ $p = 0.000$	–
P_{gross} (в дневное время)	$r = 0.56$ $p = 0.000$	$r = 0.64$ $p = 0.000$	$r = 0.55$ $p = 0.000$	$r = 0.77$ $p = 0.000$	$r = 0.63$ $p = 0.000$	$r = 0.87$ $p = 0.000$

Примечание. r – коэффициент корреляции Пирсона, значим при $p \leq 0.05$.

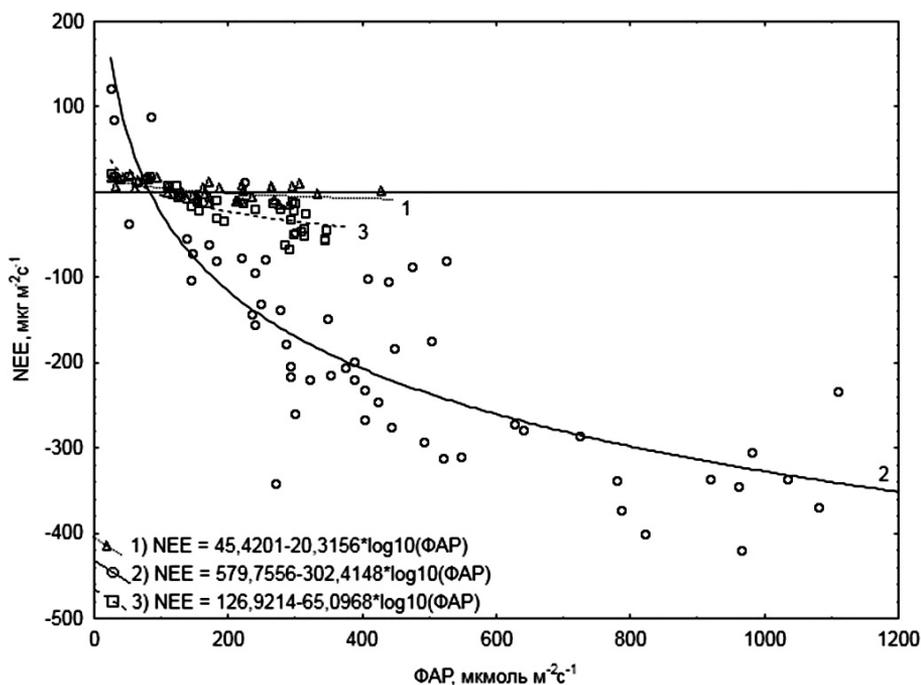


Рис. 5.11. Зависимость NEE от интенсивности ФАР: 18-19 апреля 2011 г., $R^2 = 0.32$ (1), 16-17 июля 2012 г., $R^2 = 0.71$ (2) и 3-4 октября 2010 г., $R^2 = 0.69$ (3).

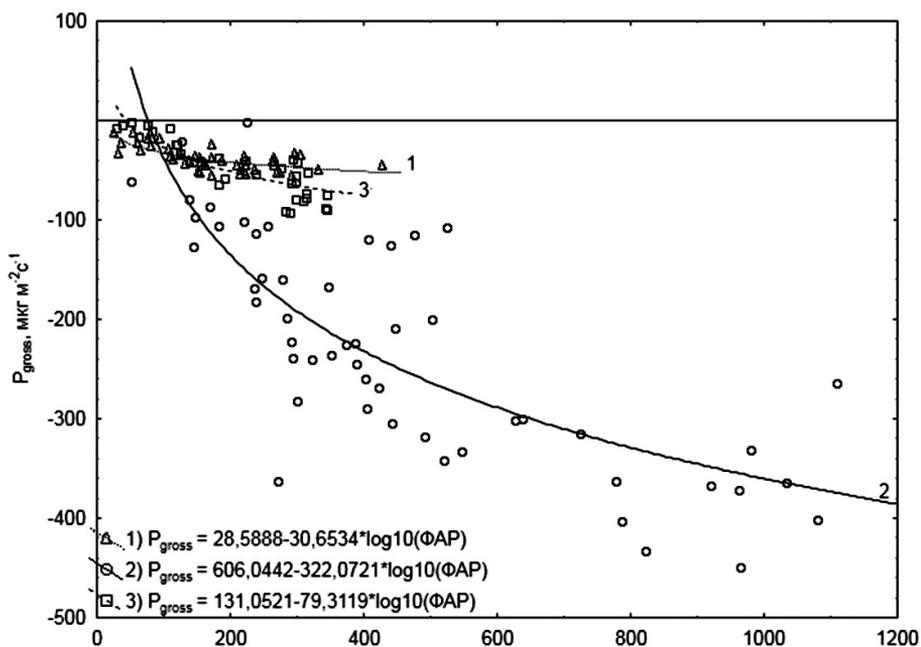


Рис. 5.12. Зависимость P_{gross} от интенсивности ФАР: 18-19 апреля 2011 г., $R^2 = 0.51$ (1), 16-17 июля 2012 г., $R^2 = 0.62$ (2) и 3-4 октября 2010 г., $R^2 = 0.72$ (3).

верхности почвы (Kutzbach et al., 2007). Наши исследования подтвердили эту закономерность, поэтому на болоте величина P_{gross} в суточной динамике зависела от температуры поверхности почвы ($T_{пов}$). Самая тесная связь P_{gross} с температурой поверхности почвы установлена осенью (табл. 5.11; рис. 5.13). Однако в этот период в связи с отмиранием травянистых растений и опадом листьев некоторых кустарничков функцию фотоассимиляции на болоте выполняют в основном сфагновые мхи.

Изменение экосистемного дыхания (R_{eco}) в ночное время также сопряжено с колебанием температуры поверхности почвы ($T_{пов}$), эта зависимость может быть описана экспоненциальной функцией (рис. 5.14). В летний период увеличение $T_{пов}$ от +14 до +19 °C приводило к усилению дыхания в семь раз. Весной и осенью при повышении $T_{пов}$ от 0 до +4 °C R_{eco} возрастало в два-четыре раза. Ранней весной и поздней осенью дыхание составляло основную долю в сумме вертикальных потоков CO_2 в системе «болото–атмосфера», поэтому величина NEE в это время была сопряжена, прежде всего, с величиной R_{eco} .

Выполненный анализ всего массива данных для каждого сезона года (кроме зимы) показал, что самая высокая корреляция абсолютной величины gross-фотосинтеза с интенсивностью фотосинтетически активной радиации наблюдается осенью ($r = 0.67$), а влияние ФАР на P_{gross} описывается логарифмической функцией (рис. 5.15). Установлена линейная зависимость P_{gross} от температуры поверхности почвы (рис. 5.16), самый высокий коэффициент корреляции отмечен весной и летом ($r = 0.71-0.72$). Дыхание экосистемы имеет экспоненциальную зависимость от температуры поверхности почвы (рис. 5.17), а наибольший коэффициент корреляции R_{eco} и $T_{пов}$ наблюдался весной и летом ($r = 0.57-0.63$, табл. 5.12).

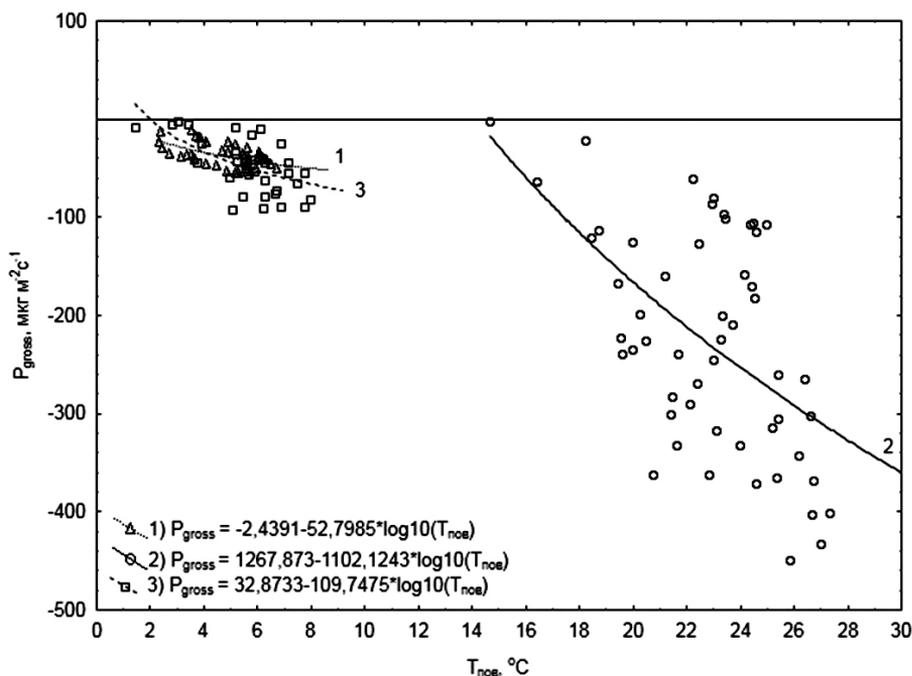


Рис. 5.13. Зависимость P_{gross} от температуры поверхности почвы ($T_{пов}$): 18-19 апреля 2011 г., $R^2 = 0.31$ (1), 16-17 июля 2012 г., $R^2 = 0.30$ (2) и 3-4 октября 2010 г., $R^2 = 0.36$ (3).

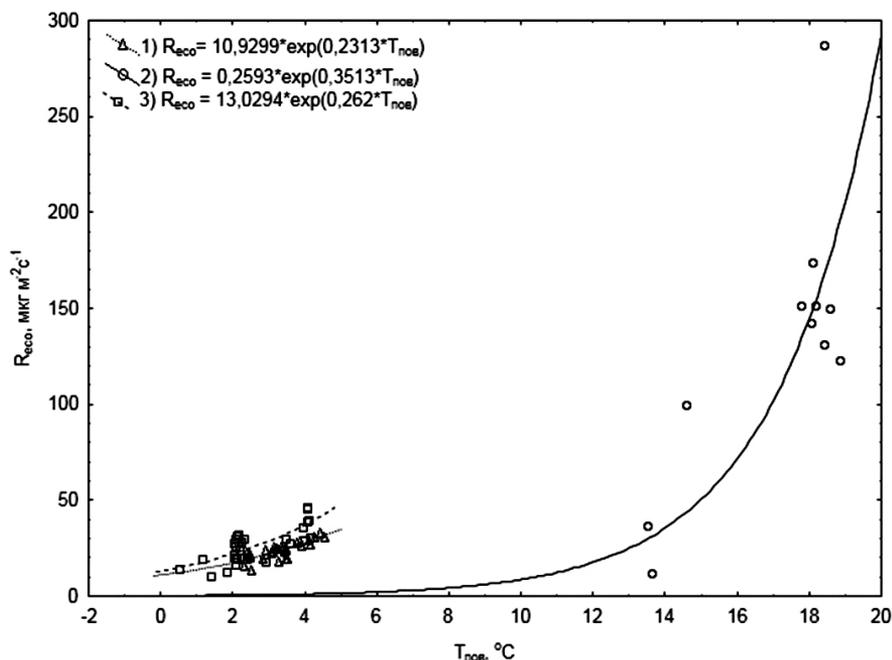


Рис. 5.14. Зависимость R_{eco} от температуры поверхности почвы ($T_{\text{поверх}}$): 18-19 апреля 2011 г., $R^2 = 0.61$ (1), 16-17 июля 2012 г., $R^2 = 0.70$ (2) и 3-4 октября 2010 г., $R^2 = 0.54$ (3).

Из этого следует, что весной величина стока CO_2 лимитирована температурным режимом почвы, хотя в некоторые дни апреля положительный P_{gross} наблюдали даже при отрицательной температуре.

Если осенью на болоте величина фотосинтеза в сообществах растений лимитируется величиной ФАР, то возрастание числа дней с ясной погодой будет положительно влиять на величину поглощения CO_2 . Однако с увеличением температуры возрастает дыхание экосистемы, что приведет к снижению суточной NEE . Раннее начало оттаивания поверхности почвы весной способствует более продолжительному периоду вегетации и определяет величину стока углекислого газа в болотные экосистемы (Aurela et al., 2004).

Таким образом, в результате проведенных исследований методом микро-вихревых пульсаций нами выявлена корреляционная зависимость вертикальных потоков диоксида углерода в системе «болото–атмосфера» от основных экологических факторов. Степень сопряженности показателей CO_2 -газообмена с ФАР и температурой меняется в течение года, что определяется сезонным ходом развития растений на болоте и формированием снежного покрова. В летний период с увеличением температуры поверхности почвы и ФАР нетто-обмен CO_2 между болотом и атмосферой возрастает, а его сток превышает эмиссию. Поздней осенью и ранней весной, когда фотосинтетическая активность растений очень низкая, величина суточного баланса CO_2 на болоте определяется интенсивностью экосистемного дыхания.

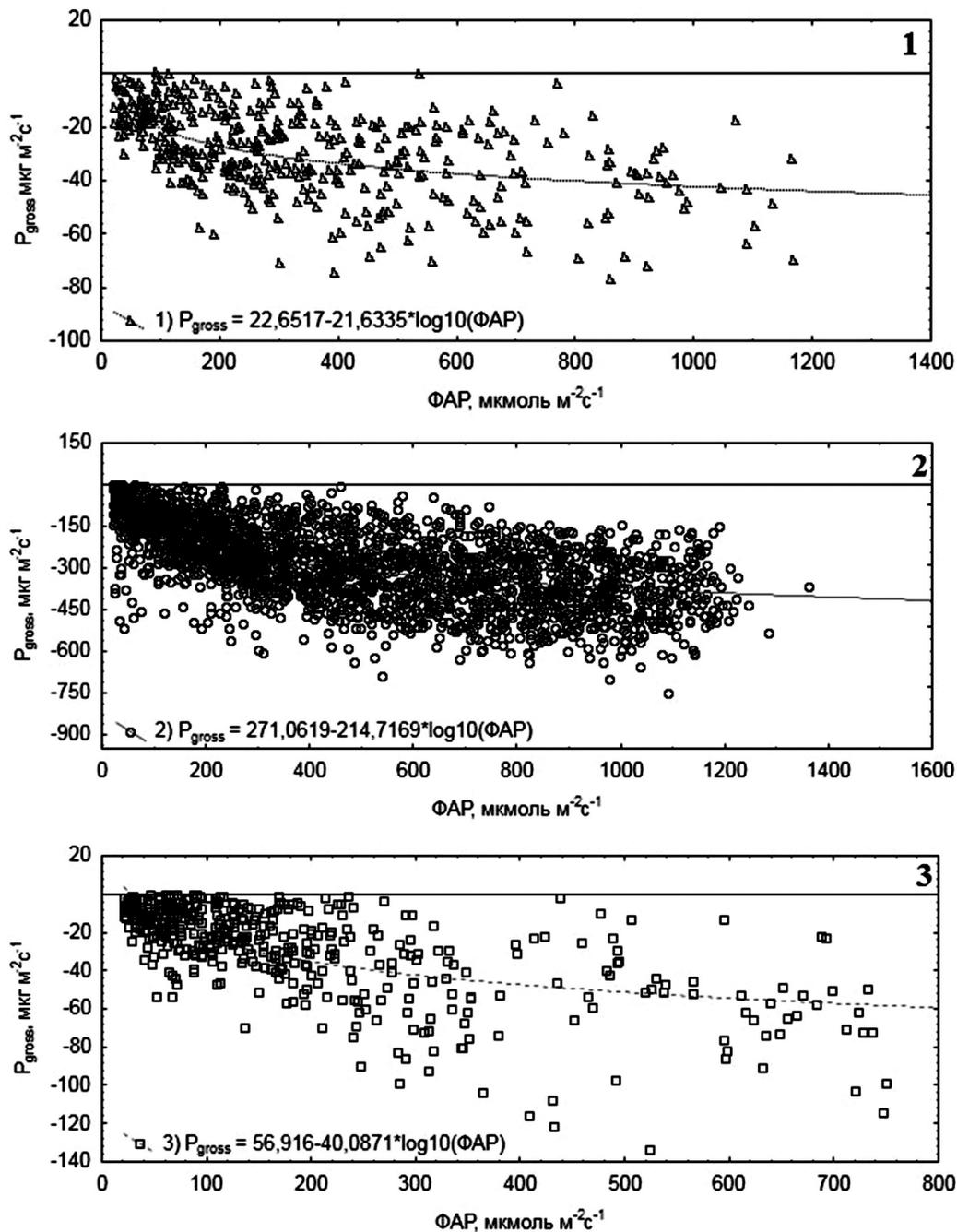


Рис. 5.15. Зависимость P_{gross} от интенсивности ФАР весной (1), летом (2) и осенью (3).

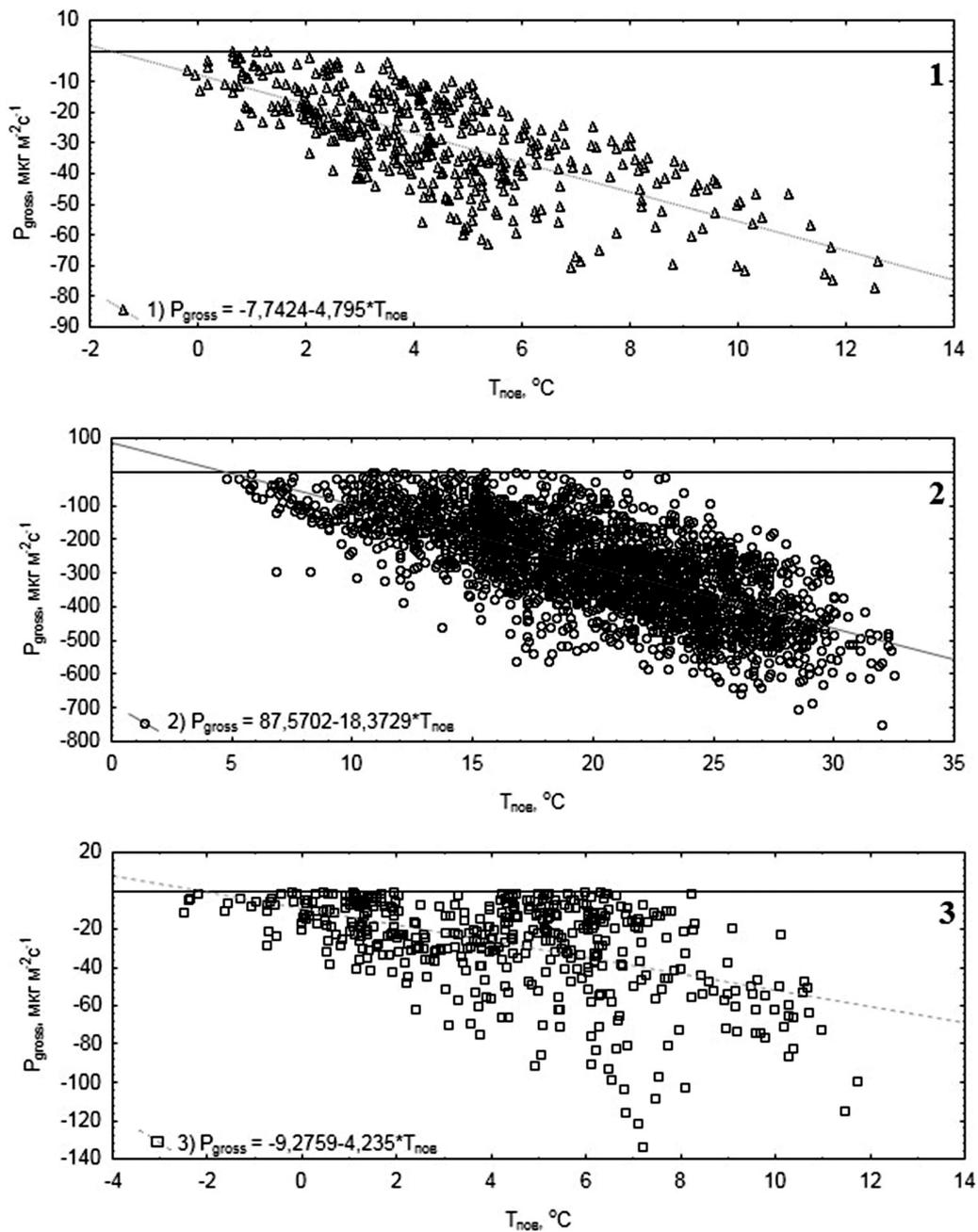


Рис. 5.16. Зависимость P_{gross} от температуры поверхности почвы ($T_{\text{пов.}}$) весной (1), летом (2) и осенью (3).

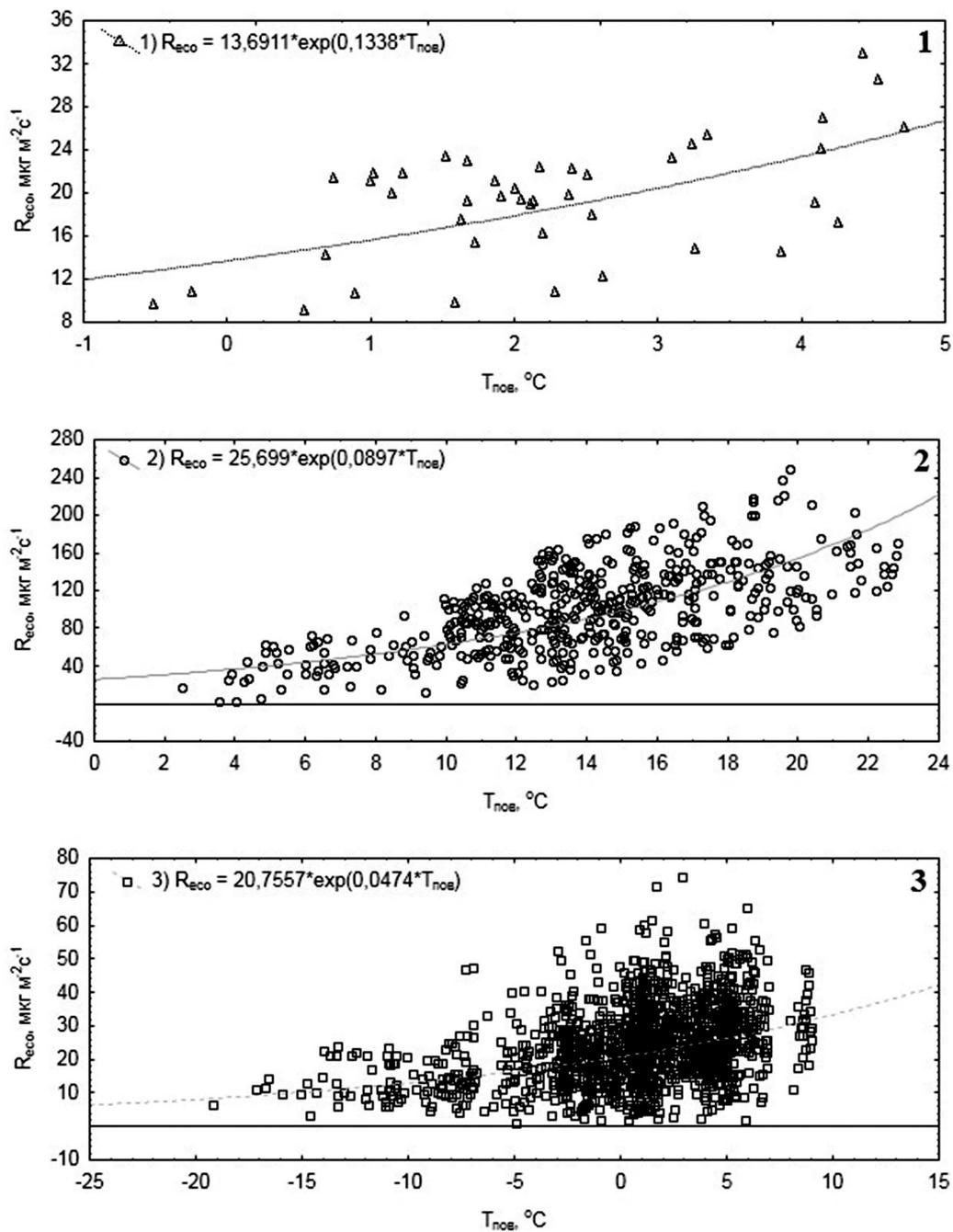


Рис. 5.17. Зависимость R_{eco} от температуры поверхности почвы ($T_{пов}$) весной (1), летом (2) и осенью (3).

Таблица 5.12

**Корреляционные зависимости экосистемного дыхания и gross-фотосинтеза
от температуры поверхности почвы и интенсивности ФАР в разные периоды года**

Показатель	Период без снежного покрова до начала вегетации (9-28 апреля)		Вегетационный период (15 мая-30 сентября)		Окончание вегетационного периода и начало периода со снежным покровом (30 сентября-23 ноября)	
	$T_{\text{пов}}$	ФАР	$T_{\text{пов}}$	ФАР	$T_{\text{пов}}$	ФАР
R_{eco} (в ночное время)	$r = 0.57$ $p = 0.000$	–	$r = 0.63$ $p = 0.000$	–	$r = 0.36$ $p = 0.000$	–
R_{gross} (в дневное время)	$r = 0.72$ $p = 0.000$	$r = 0.50$ $p = 0.000$	$r = 0.71$ $p = 0.000$	$r = 0.59$ $p = 0.000$	$r = 0.51$ $p = 0.000$	$r = 0.67$ $p = 0.000$

Примечание. r – коэффициент корреляции Пирсона, значим при $p \leq 0.05$.

5.4. Эмиссия метана в растительных сообществах мезоолиготрофного болота

Болотные экосистемы являются естественными источниками поступления в атмосферу метана, который поглощает инфракрасное излучение в десятки раз активнее углекислого газа (IPCC, 2001). Поэтому повышение его концентрации в атмосфере усиливает парниковый эффект и способствует увеличению глобальной температуры. Вклад болот в общий поток CH_4 с поверхности суши в атмосферу составляет 26%, что соответствует 130-260 млн. т (Ehhalt, 1974). По имеющимся данным И.И. Мохова с соавторами (2007), за период 1958-2000 гг. среднегодовая величина эмиссии метана с поверхности болот в северных широтах достигла 28 Мт.

Эмиссия метана в болотных экосистемах является результирующей двух разнонаправленных процессов – продукции метана метаногенными бактериями и его поглощения метанотрофами (Panikov et al., 2001). В торфяной залежи метан образуется в анаэробных условиях, наиболее активно метаногенез происходит на глубине 10 см и ниже от поверхности грунтовых вод (García et al., 2000; Глаголев, Смагин, 2006). Метаноокисляющие микроорганизмы, потребляющие метан для поддержания своей жизнедеятельности, развиваются в верхнем аэрируемом слое торфа (Conrad, 1996). Активность метаногенных и метанотрофных бактерий зависит от таких экологических факторов, как уровень грунтовых вод, температура воздуха и почвы (Heikkinen et al., 2002; Глаголев, Смагин, 2006). Поэтому гидротермический режим на болоте определяет сезонную динамику образования и поглощения метана, а также скорость его выделения в атмосферу. Согласно М.В.Глаголеву и А.В. Смагину (2006), из торфяной толщи метан высвобождается тремя основными путями: диффузией через воду или воздух, заполняющие поры в грунте, пузырьковым потоком и посредством растений. Как отмечают авторы, вклад диффузии в транспорт метана из нижних горизонтов торфа в атмосферу в насыщенных водой болотных почвах может достигать 18%, пузырькового потока – 30%, а поток через растения может достигать 60%. Благодаря тому, что некоторые сосудистые растения-макрофиты являются хорошими проводниками метана из торфяной залежи в атмосферу, ботанический состав растительных сообществ играет важную роль в регуляции скорости эмиссии этого газа в болотных экосистемах (Whiting, Chanton, 1992; Schimel, 1995). Большая часть исследова-

ний эмиссии метана в России выполнена в Западной Сибири, в основном в Томской области, где болота занимают 29-30% территории (Семенова, 2001). В Республике Коми сезонные наблюдения за потоками метана в атмосферу проводили на территории заполярной тундры (Heikkinen et al., 2002). Единичные измерения эмиссии метана в болотных биогеоценозах средней тайги были проведены А.И. Слободкиным с соавторами (1992). Цель наших исследований состояла в характеристике потоков метана в атмосферу в течение вегетационного сезона на разных участках мезоолиготрофного болота в подзоне средней тайги.

Объекты и методы. Измерения потоков метана проводили методом камер на мезоолиготрофном болоте Медла-Пэв-Нюр (описание см. 5.1) с июня по август 2008 г. одновременно на четырех участках, различающихся по характеру микрорельефа и видовому составу растений (табл. 5.13). Для этого использовали изготовленные из алюминиевого листа камеры объемом 0.108 м^3 , которые устанавливали на металлические рамки ($600 \times 600 \text{ мм}$), имеющие желоб для воды, и углубленные в торф на 400 мм . Камеры укомплектованы электрическими вентиляторами для охлаждения и перемешивания воздуха, термометрами и пластиковой трубкой для поддержания нужного атмосферного давления внутри камеры. Шприцы и пробка камеры снабжены сдерживающими кранами. Отбор проб производили с использованием пластиковых шприцев объемом 60 мл в определенное время суток, экспозиция составляла 20 мин .

Анализ проб проводили на газовом хроматографе НР (Hewlett Packard-5890 (II) с использованием плазменно-ионизационного детектора. Микроклиматические параметры на болоте регистрировали автоматической метеостанцией фирмы Campbell Scientific (Великобритания). Температуру почвы на участках на глубине 30 см измеряли автоматическими датчиками фирмы Novo (США). Для определения уровня грунтовых вод применяли пластмассовые трубки, установленные в верхних горизонтах почвы.

Скорость эмиссии метана рассчитывали с помощью уравнения идеально-го газа:

$$\text{Flux} = \frac{M_{\text{CH}_4} \cdot \rho \cdot V \cdot dC/dt}{R \cdot A \cdot T},$$

где Flux – величина скорости эмиссии метана ($\text{мкгCH}_4 \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$); M_{CH_4} – молярная масса метана ($16.043 \text{ г моль}^{-1}$); ρ – атмосферное давление на момент измерения (Па); V – объем камеры (0.108 м^3); dC/dt – изменение концентрации газа во времени t ; R – универсальная газовая постоянная ($8.314472 \text{ Па м}^3 \text{ моль}^{-1} \text{ К}$); A – площадь рамы, ограничивающей поверхность (0.36 м^2); T – температура внутри камеры на момент измерения ($^{\circ}\text{К}$).

По данным Коми республиканского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (<http://meteo.parma.ru>), погодные условия в 2008 г. были неустойчивыми, теплые дни чередовались с периодами резкого снижения среднесуточных температур воздуха. Начало вегетации отмечено на полмесяца позже обычного. Теплая погода установилась во второй декаде июня, когда среднедневная температура составила $+14...+15 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Количество среднемесячных осадков в июне составило $50-77 \text{ мм}$, что больше многолетней нормы для района исследований. В июле преобладала жаркая погода без осадков со среднемесячной температурой $+16...+19 \text{ }^{\circ}\text{C}$, максимальная температура воздуха достигала $+33 \text{ }^{\circ}\text{C}$. В первой декаде августа было прохладно, среднемесячная температура находилась в пределах $+13...+15 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Во второй декаде августа установилась дождливая погода, осадков выпало в два-три раза боль-

Таблица 5.13

Характеристика экспериментальных участков болота Медла-Пэв-Нью

№ участка	Сообщество	Тип микрорельефа	Видовой состав и обилие видов*
1	Олиготрофное травяно-кустарничко-сфагновое	Мочажина	В травяно-кустарничковом ярусе доминируют <i>Scheuchzeria palustris</i> (10%) и <i>Oxycoccus palustris</i> (5%), <i>Carex limosa</i> , <i>Drosera rotundifolia</i> и <i>Chamaedaphne calyculata</i> встречаются единично. В моховом ярусе все пространство занимают мхи рода <i>Sphagnum</i> (100%).
2	Мезотрофное травяно-кустарничко-сфагновое	Осоково-сфагновый ковер	В травяно-кустарничковом ярусе доминируют <i>Carex rostrata</i> (10%), <i>Oxycoccus palustris</i> (10%) и <i>Carex limosa</i> (10%). Незначительное пространство занимают <i>Andromeda polifolia</i> (4%) и <i>Scheuchzeria palustris</i> (4%). В моховом ярусе доминируют мхи рода <i>Sphagnum</i> (100%).
3	Мезоевтрофное кустарничко-травяно-сфагновое	Кочка	В травяно-кустарничковом ярусе доминируют <i>Andromeda polifolia</i> (10%), <i>Oxycoccus palustris</i> (7%), <i>Carex rostrata</i> (5%) и <i>Scheuchzeria palustris</i> (5%). Незначительное пространство занимают <i>Betula piana</i> (4%) и <i>Carex limosa</i> (3%). В моховом ярусе доминируют мхи рода <i>Sphagnum</i> (100%).
4	Мезоевтрофное травяно-сфагновое	Топь	В травянисто-кустарничковом ярусе доминируют <i>Scheuchzeria palustris</i> (до 50%) и <i>Utricularia intermedia</i> (20%). Незначительное пространство занимают <i>Oxycoccus palustris</i> (4%), <i>Menyanthes trifoliata</i> (4%), <i>Carex limosa</i> (4%) и <i>Andromeda polifolia</i> (3%). Единично встречается <i>Betula piana</i> . Моховой ярус представлен мхами рода <i>Sphagnum</i> (80%).

* Видовые названия высших сосудистых растений даны по (Черепанов, 1995), обилие видов определяли по шкале Друде, в цифровом выражении (Шенников, 1964).

ше обычного (137-143% от нормы). Продолжительность летнего периода была на две-три недели короче многолетней нормы. Сентябрь характеризовался прохладной погодой со среднемесячной температурой +5...+7 °С, что на 1-2 °С ниже средней многолетней.

Гидротермические параметры на исследованном болоте менялись как во времени, так и в пространстве. Так, на участке, приуроченном к олиготрофной мочажине, уровень грунтовых вод (УГВ) был существенно ниже, чем на участке мезоевтрофной топи (рис. 5.18). Разница температур почвы на данных участках отмечена в июне-июле, а в августе она была выражена слабо. В целом с июня по август сохранялась тенденция к постепенному снижению УГВ на фоне понижения температуры почвы. Минимальные значения УГВ выявлены в первой декаде августа.

Сезонная динамика эмиссии метана. Участки исследованного болота, различающиеся по видовому составу растений и характеру микрорельефа, имели разную скорость эмиссии метана в атмосферу (рис. 5.19). Более интенсивное выделение метана наблюдали с поверхности мезоевтрофной травяно-сфагнутой проточной топи (участок № 4) и мезотрофного кустарничко-травяно-сфагнутого ковра (участок № 2). Менее активный поток отмечен с поверхности кочки с мезоевтрофным сообществом (участок № 3) и олиготрофной травяно-сфагнутой мочажины (участок № 1). Полученные нами различия в скорости эмиссии метана на разных участках болота согласуются с данными других авторов, которые также отмечали влияние видового состава растений в фитоценозе и характера микрорельефа на эмиссионные потоки (Schimel, 1995; Panikov et al., 2001; Kutzbach et al., 2004).

В сезонной динамике высокая скорость выделения метана на большинстве исследованных нами участков болота отмечена в июне-июле, когда уровень грунтовых вод оставался высоким на фоне повышенной температуры почвы (рис. 5.18). По мнению других авторов, такие условия являются оптимальными для продукции и выделения метана (Шнырев, Глаголев, 2007). Эмиссия заметно снижалась в августе с наступлением дождливой погоды. В середине

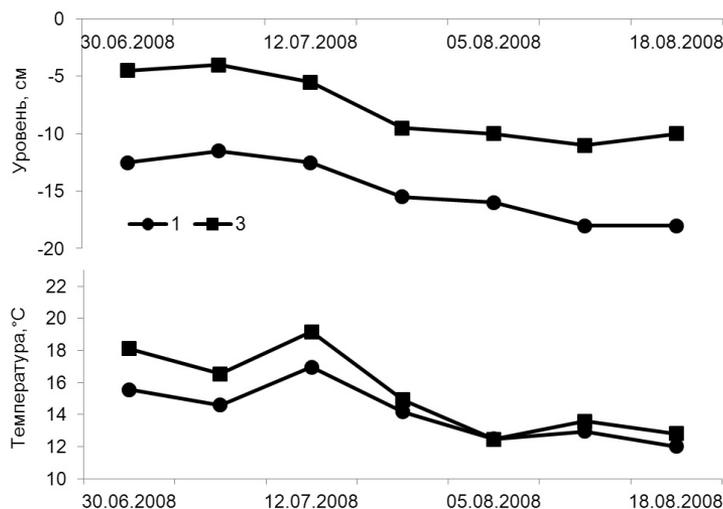


Рис. 5.18. Динамика уровня грунтовых вод и температуры почвы на глубине 30 см в период наблюдений на олиготрофной мочажине (1) и мезоевтрофной топи (3).

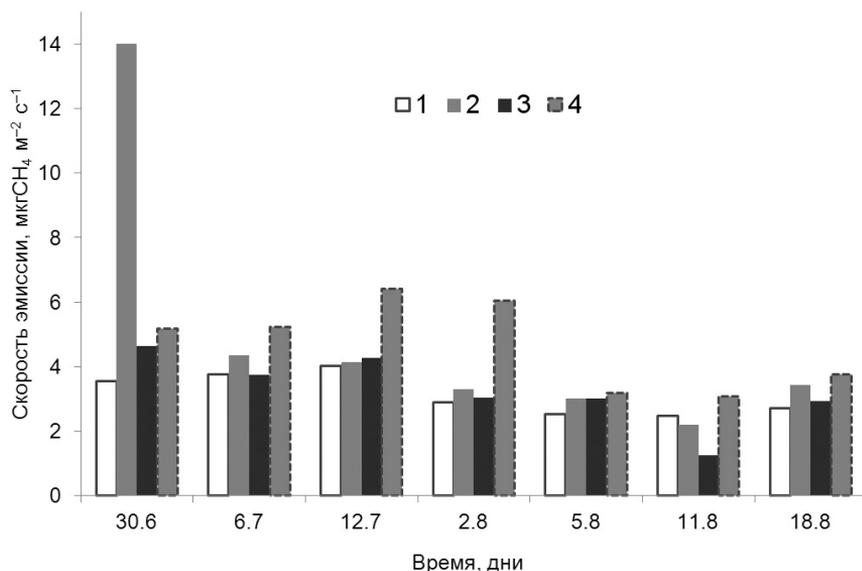


Рис. 5.19. Сезонная динамика скорости эмиссии метана на разных участках болота в 2008 г. 1-4 – номера участков соответствуют нумерации в табл. 5.13.

сентября и начале октября скорость выделения метана приблизилась к нулю, а на некоторых участках в октябре отмечены отрицательные значения эмиссии, т.е. его поглощение. По мнению А.В.Наумова (2009), поглощение метана может быть результатом активизации жизнедеятельности метанотрофов и угнетения деятельности метаногенных микроорганизмов вследствие понижения температур осенью.

В целом, за вегетационный период средняя скорость эмиссии метана в атмосферу на мезотрофном и мезоевтрофном участках составила 5.27 и 5.35 мкг м⁻² с⁻¹ соответственно, а в олиготрофной мочажине – 4.19 мкг м⁻² с⁻¹. Полученные нами значения эмиссионного потока в два-четыре раза выше, чем были получены ранее другими авторами для олиготрофных болот средней тайги Западной Сибири (Sabrekov et al., 2011) и Иласского болотного массива Архангельской области (Федоров и др., 2008). Эти различия могут быть связаны с погодными условиями в годы проведения наблюдений, строением и структурой исследованных болот, а также с методами измерений и расчетов эмиссионных потоков.

Корреляционный анализ полученных данных показал, что в течение сезона скорость эмиссии метана зависит от увеличения температуры в торфяной залежи на всех экспериментальных участках. Более высокий коэффициент корреляции скорости эмиссии метана с температурой почвы на глубине 30 см установлен для микропонижений (табл. 5.14). Возможно, что на выделение метана с кочки на мезоевтрофном участке (№ 3) и при высокой плотности трав р. *Carex* (№ 2) влияют другие факторы. В сезонной динамике эмиссия метана зависит также от положения зеркала грунтовых вод, прежде всего, на олиготрофном участке (табл. 5.14).

Вероятно, на микроповышениях изменение уровня болотных вод в большей степени, чем на других участках, влияет на аэрацию в толще торфа, что в свою очередь определяет деятельность микроорганизмов, окисляющих метан (Инишева, Сергеева, 2006).

Таблица 5.14

**Зависимость скорости эмиссии метана от экологических факторов
на исследуемых участках болота**

№ участка	Число измерений, n	Температура почвы		Температуры воздуха		УГВ	
		г	р	г	р	г	р
1	7	0.76	0.01	0.2	0.6	0.92	0.003
2	7	0.33	0.39	0.2	0.54	0.6	0.15
3	7	0.57	0.1	0.2	0.54	–	–
4	7	0.66	0.05	0.2	0.58	0.65	0.1

Примечание: г – коэффициент корреляции, р – 5%-ный уровень значимости (величина значима при $p \leq 0.05$).

Средняя скорость эмиссии метана за вегетационный сезон для четырех экспериментальных участков болота составила 4.1 ± 2.1 $\text{мкг м}^{-2} \text{с}^{-1}$, что выше результатов, полученных на других болотах таежной зоны. Так, в мезотрофных болотах средней тайги Западной Сибири средняя за сезон величина достигала 1.57 $\text{мкг м}^{-2} \text{с}^{-1}$ (Panikov et al., 2001).

Для исследованного нами болота зависимость скорости эмиссии метана от температуры почвы описывается экспоненциальной функцией (рис. 5.20), что согласуется с результатами исследований других авторов (Глаголев, Смагин, 2006; Глаголев и др., 2007). Зависимость средней скорости эмиссии метана от УГВ для четырех участков в сезонной динамике описывается линейной функцией (рис. 5.21). Близкое к поверхности болота положение грунтовых вод замедляет аэробный процесс окисления метана (MacDonald et al., 1998; Глаголев и др., 2010). Из этого следует, что с повышением температуры почвы и уровня воды на болоте выбросы метана в атмосферу усиливаются.

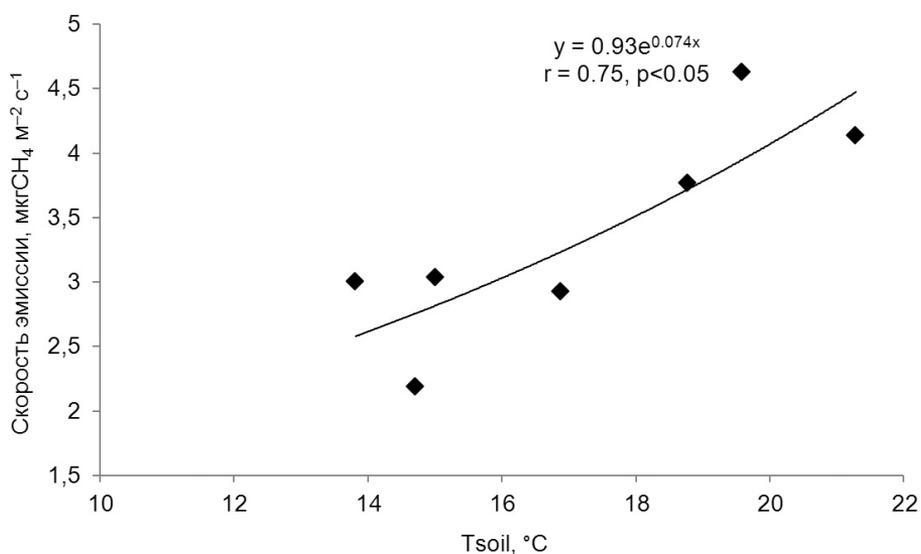


Рис. 5.20. Зависимость скорости эмиссии метана на болоте от температуры почвы на глубине 30 см. Точки соответствуют средним значениям для четырех участков в день наблюдений.

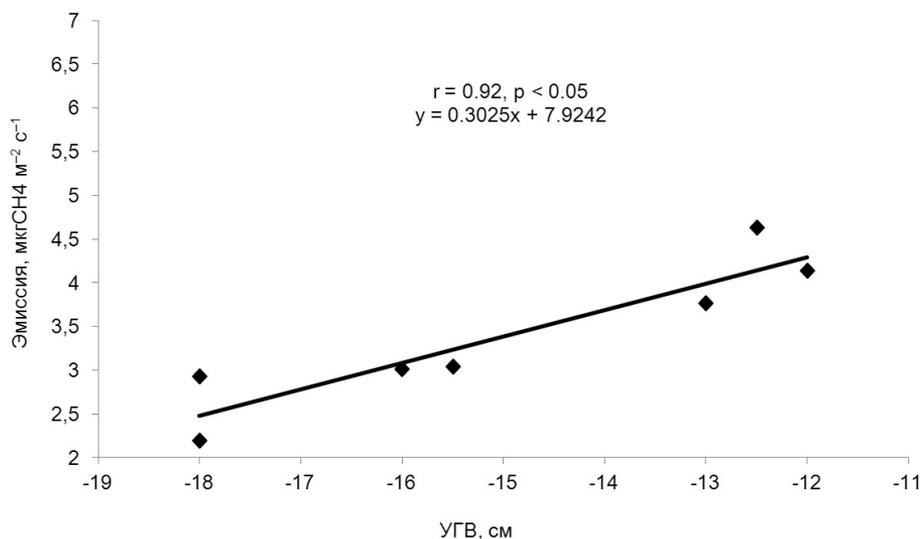


Рис. 5.21. Зависимость скорости эмиссии метана от УГВ на болоте Медла-Пэв-Ньюр. Точки соответствуют средним значениям скорости эмиссии и УГВ для четырех участков в день наблюдений.

Для оценки годовой эмиссии метана (без учета снежного периода) Г.Г. Суворов и М.В. Глаголев (2007) предлагают использовать произведение медианы суточных потоков за вегетационный период на период эмиссии метана (ПЭМ). Согласно авторам, ПЭМ на 12.3% превышает продолжительность летне-осеннего периода. В условиях средней тайги Республики Коми вегетационный период продолжается 158 дней (Леса..., 1999), в этом случае ПЭМ составит 177 сут. Рассчитанная нами медиана суточных потоков для четырех участков составила $0.26 \text{ г м}^{-2} \text{ сут}^{-1}$, а суммарная годовая эмиссия – 46 г м^{-2} . По данным Г.Г. Суворова и М.В. Глаголева (2007), на Бакчарском болоте средней тайги Западной Сибири за год в атмосферу выделяется метана $51.1\text{--}76.3 \text{ г м}^{-2}$ в топяных сообществах и $63.1\text{--}73.5 \text{ г м}^{-2}$ – в осоковых.

Таким образом, полученные нами результаты свидетельствуют о пространственной и сезонной вариабельности скорости эмиссии метана на мезо-олиготрофном болоте средней тайги. Более высокие значения потоков метана в атмосферу отмечены в травяно-кустарничково-сфагновых сообществах мезотрофного участка и травяно-сфагновых фитоценозах мезоэвтрофной проточной топи. Установлена тесная положительная связь скорости эмиссии с температурой нижних горизонтов торфа и уровнем грунтовых вод. Наибольшее влияние УГВ на интенсивность выделения метана отмечено на олиготрофном участке болота. Рассчитанная величина годовой эмиссии метана составила 46 г м^{-2} , что согласуется с приведенными в литературе данными для других болот бореальной зоны.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время Республика Коми располагает наиболее развитой системой ООПТ в Северо-Западном регионе России, которая включает 240 объектов федерального и регионального значения. Охраняемые природные комплексы призваны сохранять ландшафтное и биологическое разнообразие, генофонд флоры и фауны и выполнять средообразующие функции, что особенно важно в условиях развития промышленности в регионе и глобального изменения климата. Анализ природно-заповедного фонда показал, что из 32 типов ландшафтов, встречающихся в республике, на объектах системы ООПТ представлено 25, большинство из них относятся к таежной зоне (Особо охраняемые..., 2011). Леса занимают господствующее положение в растительности ООПТ Республики Коми, что определило выбор территорий для оценки пулов и потоков углерода в рамках проекта ПРООН/ГЭФ.

Лесопокрытая площадь рассмотренных в данной работе ООПТ составила 1.74 млн. га, в них доминируют еловые, сосновые, березовые леса, что в целом отражает фитоценотическое разнообразие лесного покрова в лесном фонде республики. В лесах природно-заповедного фонда преобладают старовозрастные древостои. Молодняки и средневозрастные сосняки приурочены к районам интенсивных рубок во второй половине прошлого столетия и гарям различной давности. В хвойных фитоценозах древесный ярус и подлесок образован 10-14 видами деревьев и кустарников. В напочвенном покрове встречается 6-12 видов кустарничков, 24-48 видов трав, 8-12 видов мхов, 75-10 видов лишайников. Высокое разнообразие трав отмечено в сосняках и ельниках.

Пул углерода в лесной экосистеме зависит от условий местопроизрастания. В северной тайге в хвойных биогеоценозах возрастает доля запаса углерода в органическом веществе почвы. По полученным оценкам запас углерода в рассмотренных объектах природно-заповедного фонда составил 242.86 млн. т, из них сосредоточено в фитомассе ценозов 33.8%, в дебрисе – 2.5, в почве – 63.7%.

Основной угрозой для биологического разнообразия и углеродных пулов в лесных экосистемах особо охраняемых природных территорий Республики Коми являются пожары. На исследованных объектах в 2001-2010 гг. было зафиксировано 78 пожаров, их общая площадь составила 848.3 га. Максимальное количество случаев пожаров было отмечено в 2005 г. Общая эмиссия углерода от лесных пожаров за 10 лет на территории рассматриваемых ООПТ составила 19.8 тыс. т. Однако за такой короткий период не удалось установить зависимость частоты и площади возгораний от климатических изменений, для этого требуется анализ данных за более длительный период.

Возможное влияние климатического фактора и пожаров на состав и запасы углерода в растениях и почве лесных экосистем в ближайшие сто лет показано на примере двух лесных заказников с использованием имитационной модели EFIMOD. Моделирование исследованных лесов, в которых преобладают молодые и средневозрастные древостои, при различных сценариях указывает

на положительный баланс углерода, т.е. его заметный сток. В дальнейшем необходимо провести анализ возможной динамики спелых и перестойных лесов при тех же сценариях изменения климата и лесных пожаров для уточнения суммарной оценки баланса углерода для охраняемых территорий.

В лесных экосистемах основным источником эмиссии диоксида углерода в атмосферу является почва. Установлена положительная корреляция скорости эмиссии CO_2 с температурой и отрицательная с влажностью почвы в сосняке чернично-сфагновом и ельнике чернично-сфагновом, характеризующихся неблагоприятным гидротермическим режимом. Однако оценка суммарной эмиссии парниковых газов в лесных экосистемах рассмотренных ООПТ пока затруднена из-за отсутствия достаточного количества экспериментальных данных для всего многообразия лесных фитоценозов. Актуальными остаются исследования почвенного дыхания при различных внешних воздействиях, таких как пожары и рубки, которые могут привести к существенным изменениям в балансе CO_2 в лесных экосистемах.

Лесовосстановление и лесоразведение рассматриваются как меры по увеличению депонирования лесами атмосферного углерода. Как показали исследования в рамках проекта ПРООН/ГЭФ, перспективной по скорости роста и депонированию углерода является сосна скрученная.

Важную роль в поддержании биологического разнообразия и углеродного бюджета в регионе играют болотные ландшафты. Охраняемый фонд Республики Коми включает 112 болотных резерватов, различающихся по площади, геоморфологическому положению, условиям водно-минерального питания, флористическому составу и структуре растительного покрова. На примере трех болотных экосистем показано варьирование запасов органического вещества растений. Экологические факторы и сезонная динамика развития растений определяют направление и величину потоков CO_2 между болотом и атмосферой в течение вегетационного сезона. Скорость эмиссии метана в значительной степени зависит от типа сообществ. Сезонные наблюдения показали, что мезоолиготрофное болото таежной зоны выполняет функцию стока углерода из атмосферы. Для оценки роли различных типов болот природно-заповедного фонда в поглощении углерода атмосферы необходимо расширить географию исследований в регионе с привлечением современных методов измерений парниковых газов.

ЛИТЕРАТУРА

- Абрамов И.И., Волкова Л.А.* Определитель листостебельных мхов Карелии // Бриол. журн. Арктоа. 1998. Т. 7. Прил. 1. С. 1–390.
- Абрамова А.Л., Савич-Любицкая Л.И., Смирнова З.Н.* Определитель листостебельных мхов Арктики СССР. М.-Л., 1961. 715 с.
- Агрометеорологический бюллетень Республики Коми. Сыктывкар: Коми ЦГМС, 2008, 2009, 2010.
- Алексеева Р.Н.* Болотные заказники бассейна средней Печоры // Биологическое разнообразие особо охраняемых природных территорий Республики Коми. Вып. 6. Сыктывкар, 2009. 148 с.
- Алексеева Р.Н.* Урожайность клюквы на болотах средней тайги (бассейн р. Вычегды) // Охрана и рациональное использование растительных ресурсов на Севере. Сыктывкар, 1982. С. 71–79. (Тр. Коми филиала АН СССР, № 56).
- Алексеева Р.Н.* Болота бассейна р. Илыч // Флора и растительность южной части бассейна реки Печоры. Сыктывкар, 1992. С. 34–42. (Тр. Коми НИЦ УрО РАН, № 126).
- Алексеева Р.Н.* Болота переходной полосы между зонами аапа и бугристых болот на северо-востоке европейской части СССР // Ботан. журн., 1974. Т. 59. № 1. С. 74–81.
- Алексеева Р.Н.* Болота Припечорья. Л., 1988. 136 с.
- Алексеева Р.Н.* Евтрофные болота средней Печоры. Сыктывкар, 1972. Т. 2. № 4(14). С. 51–57.
- Алексеева Р.Н.* Общая характеристика болот бассейна средней Печоры. Сыктывкар, 1971. С. 77–81. (Тр. Коми филиала АН СССР, № 23).
- Алексеева Р.Н.* Растительность и стратиграфия клюквенных болот бассейна средней Вычегды // Эколого-ценотическое и флористическое изучение фитоценозов европейского Севера. Сыктывкар, 1987. С. 47–56. (Тр. Коми филиала АН СССР, № 82).
- Алексеева Р.Н.* Эколого-биологические особенности клюквы и ее продуктивность на болотах средней тайги. Сыктывкар, 2000. 128 с.
- Алексеева Р.Н., Гончарова Н.Н.* Растительность и стратиграфия болотных экосистем бассейна р. Лузы // Сибирский экологич. журн., 2007. № 3. С. 431–439.
- Алексеева Р.Н., Гончарова Н.Н.* Флора и торфяные залежи болота типа аапа Вадчарты (Бассейн реки Печора) // Ботан. журн., 2006. Т. 91. № 10. С. 1499–1509.
- Алексеева Р.Н., Оксанен П.О.* Растительность и стратиграфия Усинского болота (Республика Коми) // Ботан. журн., 2005. Т. 90. № 4. С. 536–543.
- Алексеева Р.Н., Пахучий В.В.* Особенности растительного покрова и стратиграфии осушенного торфяника (бассейн реки Вымь) // Влияние антропогенных факторов на флору и растительность Севера. Сыктывкар, 1990. С. 60–69. (Тр. Коми НИЦ УрО АН СССР. № 108).
- Арбатская М.К., Ваганов Е.А.* Изменчивость климата и история пожаров в средней тайге Средней Сибири // Экология, 1997. № 28(5). С. 291–297.
- Арчегова И.Б.* Гумусообразование на севере европейской территории СССР. Л.: Наука, 1985. 136 с.
- Атлас Коми АССР. М.: ГУГК, 1964. 112 с.
- Атлас почв Республики Коми / Под ред. Г.В. Добровольского, А.И. Таскаева, И.В. Забоевой. Сыктывкар, 2010. 356 с.
- Атлас Республики Коми по климату и гидрологии. М., 1997. 116 с.

- Биологическая продуктивность и ее факторы в лесостепной дубраве / Отв. ред. Т.К. Горышина. Л.: Изд-во ЛГУ, 1974. 216 с.
- Биологическое разнообразие Республики Коми / Под ред. В.И. Пономарева и А.Г. Татарина. Сыктывкар, 2012. 264 с.
- Биопродукционный процесс в лесных экосистемах Севера / Отв. ред. К.С. Бобкова и Э.П. Галенко. СПб.: Наука, 2001. 278 с.
- Бобкова К.С.* Биологическая продуктивность хвойных лесов европейского Северо-Востока. Л.: Наука, 1987. 156 с.
- Бобкова К.С.* Биологическая продуктивность лесов // Леса Республики Коми / Под ред. Г.М. Козубова и А.И. Таскаева. М.: ДиК, 1999. С. 40–54.
- Бобкова К.С.* Еловые леса // Биопродукционный процесс в лесных экосистемах Севера / Под ред. К.С. Бобковой, Э.П. Галенко. СПб.: Наука, 2001. С. 52–72.
- Бобкова К.С.* Продуктивность сосновых фитоценозов // Эколого-физиологические основы продуктивности сосновых лесов европейского Северо-Востока. Сыктывкар, 1993. 176 с.
- Бобкова К.С.* Биологическая продуктивность и компоненты баланса углерода в молодняках сосны // Лесоведение, 2005. № 6. С. 30–37.
- Бобкова К.С.* Еловые леса средней подзоны тайги // Коренные еловые леса Севера: биоразнообразие, структура, функции / Отв. ред. К.С. Бобкова, Э.П. Галенко. СПб.: Наука, 2006. С. 99–159.
- Бобкова К.С.* Биологическая продуктивность и компоненты баланса углерода в заболоченных коренных ельниках Севера // Лесоведение, 2007. № 6. С. 45–54.
- Бобкова К.С., Надуткин В.Д.* Продуктивность древесной растительности еловых лесов северной подзоны тайги // Экология ельников Севера. Сыктывкар, 1977. С. 45–51. (Тр. Коми филиала АН СССР, № 32).
- Бобкова К.С., Галенко Э.П.* Экологические аспекты роста и накопления органического вещества в некоторых лесных фитоценозах северной тайги // Лесоведение, 1981. № 4. С. 12–18.
- Бобкова К.С., Смоленцева Н.Л., Тужилкина В.В., Артемов В.А.* Круговорот азота и зольных элементов в сосново-еловом насаждении средней тайги // Лесоведение, 1982. № 5. С. 3–11.
- Бобкова К.С., Перчаткин П.А., Свойкин В.Ф.* Древесные ресурсы // Лесное хозяйство и лесные ресурсы Республики Коми. М.: ДиК, 2000. С. 331–348.
- Бобкова К.С., Тужилкина В.В.* Содержание углерода и калорийность органического вещества в лесных экосистемах Севера // Экология, 2001. № 1. С. 69–71.
- Бобкова К.С., Тужилкина В.В., Кузин С.Н.* Баланс углерода в старовозрастном ельнике черничном северной тайги // Материалы и тезисы докладов Международной конференции. Стационарные лесоэкологические исследования: методы, итоги, перспективы. Сыктывкар, 2003. С. 33–34.
- Бобкова К.С., Тужилкина В.В.* Углеродный цикл в еловых экосистемах // Коренные еловые леса Севера: биоразнообразие, структура, функции / Отв. ред. К.С. Бобкова, Э.П. Галенко. СПб.: Наука, 2006. С. 265–289.
- Бобкова К.С., Кузнецов М.А., Манов В.А., Галенко Э.П., Тужилкина В.В.* Фитомасса древостоев ельников чернично-сфагновых на болотно-подзолистых почвах европейского Северо-Востока // ИВУЗ. Лесной журнал, 2010. № 1. С. 19–27.
- Бобкова К.С., Осипов А.Ф.* Круговорот углерода в системе «фитоценоз–почва» в чернично-сфагновых сосняках средней тайги Республики Коми // Лесоведение, 2012. № 2. С. 11–18.
- Боч М.С.* Об аапа болотах на северо-востоке европейской части СССР // Ботан. журн., 1963. Т. 48. № 12. С. 1818–1822.
- Боч М.С., Василевич В.И.* Болота верховьев рек Печоры и Илыча (Северное Предуралье) // Болота европейского Севера. Структура, генезис, динамика. Петрозаводск, 1980. С. 42–75.
- Боч М.С., Василевич В.И.* Комплексные работы Верхне-Печорской экспедиции на территории заповедника // Тр. Печоро-Илычского заповедника. М., 1976. Вып. 13. С. 5–18.

- Боч М.С., Оленская Н.М.* Болота Якшинского участка // Взаимосвязи компонентов лесных и болотных экосистем средней тайги Приуралья. Л., 1980. С. 65–86.
- Боч М.С., Солоневич Н.Г.* Болота восточноевропейской лесотундры и их особенности // Растительность лесотундры и пути ее освоения. М.-Л., 1967. С. 182–193.
- Боч М.С., Солоневич Н.Г.* Болота, заболоченные редколесья и тундры // Почвы и растительность восточноевропейской лесотундры. Л., 1972. С. 260–324.
- Боч М.С., Солоневич Н.Г.* Особенности стратиграфии лесотундровых болот на крайнем северо-востоке Коми АССР. Сыктывкар, 1965. Вып. 10. № 10. С. 68–79.
- Будыко М.И.* Тепловой баланс земной поверхности. Л.: Гидрометеиздат, 1956. 255 с.
- Бузыкин А.И.* Влияние низовых пожаров на сосновые леса Среднего Приангарья // Охрана лесных ресурсов Сибири. Красноярск, 1975. С. 141–153.
- Бызова Ю.Б.* Дыхание почвенных беспозвоночных. М.: КМК, 2007. 328 с.
- Быховец С.С., Комаров А.С.* Простой статистический имитатор климата почвы с месячным шагом // Почвоведение, 2002. № 4. С. 443–452.
- Ваганов Е.А., Ведрова Э.Ф., Верховец С.В., Ефремов С.П., Ефремова Т.Т., Круглов В.Б., Онучин А.А., Сухинин А.И., Шибистова О.Б.* Леса и болота Сибири в глобальном цикле углерода // Сибирский экологический журнал, 2005. № 4. С. 631–649.
- Варсанюфьева В. А.* Геоморфология // Производительные силы Коми АССР. М.-Л., 1953. Т. 1. С. 257–323 с.
- Ведрова Э.Ф.* Биогенные потоки углерода в бореальных лесах Центральной Сибири // Известия РАН. Серия Биологическая, 2011. № 1. С. 77–89.
- Ведрова Э.Ф.* Разложение органического вещества лесных подстилок // Почвоведение, 1997. № 2. С. 216–223.
- Верхоланцева Л.А.* Водно-физические свойства почв сосняков-зеленомошников // Вопросы экологии сосняков Севера. Сыктывкар, 1972. С. 42–51. (Тр. Коми филиала АН СССР, № 24).
- Верхоланцева Л.А.* Почвы северотаежных ельников // Экология ельников Севера. Сыктывкар. 1977. С. 50–84. (Тр. Коми фил. АН СССР. № 32).
- Верхоланцева Л.А., Бобкова К.С.* Влияние почвенных условий на корневые системы древесных пород в еловых насаждениях подзоны северной тайги. Сыктывкар, 1972. Вып. 6. 54 с.
- Верхунов П.М.* Генезис и возрастное строение современных сосновых лесов Сибири // Лесоводственные исследования в лесах Сибири. Красноярск, 1970. Вып. 2. С. 7–58.
- Верхоланцева Л.А., Кочеткова В.Л.* Почвы северной части прибрежной зоны Печорского водохранилища (Еджидкыртинский профиль) // Влияние водохранилищ лесной зоны на прилегающие территории. М., 1970. С. 70–85.
- Водорегулирующая роль таежных лесов / М.В. Рубцов, А.А. Дерюгин, Ю.Н. Соломина и др. М., 1990. 223 с.*
- Вомперский С.Э., Иванов А.И., Цыганова О.П.* Заболоченные органогенные почвы и болота России и запас углерода в их торфах // Почвоведение, 1994. № 12. С. 17–25.
- Воронин П.Ю., Ефимцев Е.И., Васильев А.А., Ватковский О.С., Мокроносков А.Т.* Проектное содержание хлорофилла и биоразнообразие растительности основных ботанико-географических зон России // Физиология растений, 1995. Т. 42. № 2. С. 295–302.
- Восточноевропейские леса: история в голоцене и современность. М.: Наука, 2004. Кн. 1. 479 с.*
- Галенко Э.П., Бобкова К.С., Швецов С.П.* Температурный режим почвы чернично-сфагнового ельника средней тайги // ИВУЗ. Лесной журнал, 2008. № 3. С. 19–28.
- Галкина Е.А.* Использование аэрофотосъемки в болотоведении // Ботан. журн., 1953. Т. 38. № 6. С. 893–901.
- Галкина Е.А.* Методы использования аэрофотоснимков для типизации и картирования болотных массивов // Болота и заболоченные земли Карелии. Петрозаводск, 1964. С. 5–24.

Генетика, экология и география дендропопуляций и ценоэкосистем: Сборник научных трудов. Екатеринбург: УРО РАН, 2010.

Гетманов Я.Я. Болота Коми АССР и перспективы их сельскохозяйственного освоения. Сыктывкар, 1956. 36 с.

Гетманов Я.Я. Использование торфа в сельском хозяйстве. Сыктывкар, 1952. 40 с.

Гиргидов Д.Я. Сосна Муррея и дуб красный в северо-западных районах СССР // Лесное хозяйство, 1952. № 7. С. 8–10.

Глаголев М.В., Головацкая Е.А., Шнырев Н.А. Эмиссия парниковых газов на территории Западной Сибири // Сиб. экол. журн., 2007. № 2. С. 197–210.

Глаголев М.В., Сирин А.А., Лапшина Е.Д., Филиппов И.В. Изучение потоков углеродсодержащих парниковых газов в болотных экосистемах Западной Сибири // Вестник ТГПУ, 2010. Вып. 3(93). С. 120–127.

Глаголев М.В., Смагин А.В. Количественная оценка эмиссии метана болотами: от почвенного профиля – до региона (к 15-летию исследований в Томской области) // Доклады по экологическому почвоведению, 2006. № 3. Вып. 3. С. 75–114.

Говорухин В.С. Растительность бассейна р. Илыч // Тр. об-ва изучения Урала, Сибири и Дальнего Востока, 1929. Т. 1. Вып. 1. С. 7–106.

Головацкая Е.А. Биологическая продуктивность олиготрофных и эвтрофных болот южнотаежной подзоны Западной Сибири // Сиб. экол. журн., 2009. № 1. С. 38–53.

Гончарова Н.Н. О флоре болот среднего течения реки Луза (Республика Коми) // Ботан. журн., 2007. Т. 92. №5. С. 660–670.

Гончарова Н.Н., Алексеева Р.Н. Болота бассейна верховьев р. Ижмы (притока р. Печоры) // Всероссийская конференция «Академическая наука и ее роль в развитии производительных сил северных регионах России»: Материалы Всероссийской конференции с международным участием (ИЭПС УрО РАН, Архангельск, 19-22 июня 2006 г.). [Издано на CD].

Гончарова Н.Н., Дегтева С.В., Дубровский Ю.А. Комплексный заказник «Гагаягский». Растительность // Биологическое разнообразие особо охраняемых природных территорий Республики Коми. Вып. 5: ООПТ Притиманья (Ухтинский и Сосногорский районы). Сыктывкар, 2007. С. 142–156.

Гончарова Н.Н., Юрковская Т.К. Опыт крупномасштабного картографирования мезотрофных болот бассейна р. Луза // Геобот. картографирование, 2007. С. 30–34.

Городков Б.Н. Вечная мерзлота в северном крае // Тр. СОПС АН СССР. Сер. северная, 1932. Вып. 1. С. 5–109.

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.

Груза Г.В., Бардин М.Ю., Ранькова Э.Я., Рочева Э.В., Соколов Ю.Ю., Самохина О.Ф., Платова Т.В. Об изменениях температуры воздуха и атмосферных осадков на территории России в XX веке // Состояние и комплексный мониторинг природной среды и климата. Пределы изменений. М.: Наука, 2001. С. 18–39.

Гусев И. И. Продуктивность ельников Севера. Л.: Изд-во ЛГУ, 1978. 232 с.

Гусев И.И. Строение и особенности таксации ельников Севера. М., 1964. 76 с.

Государственный доклад «О состоянии окружающей среды Республики Коми в 2011 году» / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Коми, ГУ «ТФИ РК». Сыктывкар, 2012. 118 с.

Девятова Э.И. О краевых образованиях Валдайского ледника на территории Архангельской области // Комиссии по изучению четвертичного периода, 1963. Вып. 21. С. 21–29.

Дегтева С.В. Лиственные леса // Леса Республики Коми / Под ред. Г.М. Козубова и А.И. Таскаева. М.: ДиК, 1999. С. 40–54.

Дегтева С.В., Гончарова Н.Н. Проблемы охраны болот Республики Коми // Известия Коми НЦ УрО РАН, 2012. № 2(10). С. 29–35.

Дегтева С.В., Дубровский Ю.А., Шубина Т.П. Ценогическое и флористическое разнообразие березовых криволесий и редколесий северной части Печоро-Ильчского заповедника // Ботанический журнал, 2009. Т. 94. № 7. С. 1037–1056.

Дегтева С.В., Дубровский Ю.А. Динамика растительного покрова при восстановительных сукцессиях на гарях темнохвойных лесов Печоро-Ильчского заповедника // Труды Печоро-Ильчского заповедника. Сыктывкар, 2010. № 16. С. 35–41.

Дегтева С.В., Дубровский Ю.А. Горные березовые редколесья Печоро-Ильчского заповедника (Северный Урал) // Известия Самарского научного центра РАН, 2012. Т. 14. № 1–4. С. 994–997.

Динамика показателей государственного учета лесного фонда за 1996–1998 гг. / М.Д. Гиряев, Ю.А. Кукуев, В.В. Страхов и др. // Лесн. хоз-во, 2000. № 1. С. 44–46.

Дымов А.А., Бобкова К.С., Тужилкина В.В., Ракина Д.А. Растительный опад в коренном ельнике и лиственнично-хвойных насаждениях // Лесной журнал, 2012. № 3. С. 7–18.

Дымов А.А., Жангуров Е.В., Старцев В.В. Почвы северной части приполярного урала: морфология, физико-химические свойства, запасы углерода и азота // Почвоведение, 2013. № 5. С. 507–516.

Дыренков С.А. Структура и динамика таежных ельников. Л.: Наука, 1984. 175 с.
Ермаков С.М., Михайлов Г.А. Курс статистического моделирования. Новосибирск: Наука, 1976.

Ефремова Т.Т., Ефремов С.П., Косых Н.П., Миронычева-Токарева Н.П., Титлянова А.А. Биологическая продуктивность и почвы болот южного Васюганья // Сибирский экологический журнал, 1994. № 3. С. 253–267.

Желдак В.И., Атрохин В.Г. Лесоводство. М.: ВНИИЛМ, 2002. Ч. I. 336 с.

Забоева И.В. Почвы и земельные ресурсы Коми АССР // Растительность лесотундры и пути ее освоения. Л., 1967. С. 127–132.

Забоева И.В. Глееподзолистые почвы Северо-Востока европейской части СССР // Почвоведение. 1965. №7. С.14–26.

Забоева И.В. Почвы и земельные ресурсы Коми АССР. Сыктывкар: Коми книжное из-во, 1975. 344 с.

Забоева И.В. Геоморфология и почвенный покров // Леса Республики Коми / Под ред. Г.М. Козубова и А.И. Таскаева. М.: ДиК, 1999. С. 17–27.

Забоева И.В. Почвенно-экологические условия еловых сообществ // Биопродукционный процесс в лесных экосистемах Севера. СПб., 2001. С. 112–130.

Забоева И.В., Беляев С.В., Попов В.А. Почвы Печоро-Ильчского заповедника. 1972. 86 с.

Забоева И.В., Русанова Г.В., Слобода А.В. Биопродуктивность ельников средней и северной тайги Коми АССР // Растительные ресурсы, 1973. Т. 9. Вып. 1. С. 100–106.

Загирова С.В. Структура ассимиляционного аппарата и CO₂-газообмен у хвойных. Екатеринбург, 1999. 108 с.

Залесов С.В. Лесная пирология. Екатеринбург: Наука, 1998. 296 с.

Замолодчиков Д.Г. Баланс углерода в тундровых и лесных экосистемах. Дис. ... в форме науч. доклада ... д.б.н. М.: МГУ, 2003. 56 с.

Замолодчиков Д.Г. Оценка пула углерода крупных древесных остатков в лесах России с учетом влияния пожаров и рубок // Лесоведение, 2009. № 4. С. 3–15.

Замолодчиков Д.Г., Грабовский В.И., Коровин Г.Н., Куц В.А. Оценка и прогноз углеродного бюджета лесов по канадской модели CBM-CFS // Лесоведение, 2008. № 6. С. 3–14.

Замолодчиков Д.Г., Карелин Д.В., Иващенко А.И., Лопес де Гереню В.О. Микрометеорологическая оценка биогенных потоков диоксида углерода в типичных тундрах Восточной Чукотки // Почвоведение, 2005. № 7. С. 859–863.

Зекель Я.Д. Рельеф // Геология СССР. М., 1963. Т. II. Ч. 1. С. 32–40.

Зубенко Л.И. Испарение на континентах. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 251 с.

Иванов В.А., Иванова Г.А. Пожары от гроз в лесах Сибири. Новосибирск: Наука, 2010. 164 с.

Игнатенко И.В., Норин Б.Н., Рахманина А.Т. Круговорот зольных элементов и азота в некоторых биогеоценозах восточноевропейской лесотундры // Почвы и растительность мерзлотных районов СССР. Магадан: ДВНЦ АН СССР, 1973. С. 335–350.

Игнатов М.С., Игнатова Е.А. Флора мхов средней части европейской России. Т. 1. Sphagnaceae – Hedwigiaceae. М.: КМК, 2003. С. 1–608.

Игнатов М.С., Игнатова Е.А. Флора мхов средней части европейской России. Т. 2. Fontinalaceae – Amblystegiaceae. М.: КМК, 2003. С. 609–944.

Ильчуков С.В. Динамика структуры лесного покрова на сплошных вырубках. Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 119 с.

Инишева Л.И., Сергеева М.А. Условия образования и эмиссия метана в олиготрофных ландшафтах Васюганского болота // Вестник ТГПУ. Естественные и точные науки, 2006. Выпуск 6 (57). С. 54–59.

Исаев А.С., Коровин В.Г., Уткин А.И., Пряжников А.А., Замолодчиков Д.Г. Оценка запасов и годичного депонирования углерода в фитомассе лесных экосистем России // Лесоведение, 1995. № 5. С. 3–10.

Историко-культурный атлас Республики Коми. М., 1997. 384 с.

Кадастр охраняемых природных территорий Республики Коми / Под ред. А.И. Таскаева, Н. И. Тимонина. Сыктывкар, 1993. 190 с.

Казимиров Н.И., Морозова Р.М. Биологический круговорот веществ в ельниках Карелии. Л., 1973. 175 с.

Казимиров Н.И., Морозова Р.М., Куликова В.К. Органическая масса и потоки веществ в березняках средней тайги. Л.: Наука, 1978. 216 с.

Кайбияйнен Л.К., Яльнская Е.Н., Софронова Г.И. Баланс углекислого газа в среднетаежном сосняке черничном // Экология, 1999. № 4. С. 271–275.

Карпачевский Л.О. Лес и лесные почвы. М.: Лесная промышленность, 1981. 264 с.

Кац Н.Я. Болота Земного шара. М., 1971. 295 с.

Кац Н.Я. О типах олиготрофных сфагновых болот европейской России и их широтной и меридиональной зональности // Тр. Ботан. науч.-исслед. ин-та при физ.-мат. фак. М., 1928. С. 1–60.

Кац Н.Я. Типы болот СССР и Западной Европы и их географическое распространение. М., 1948. 320 с.

Кац Н.Я., Минкина Ц.И. Торфяные болота северной части бассейна реки Печоры // Тр. центр. торф. опыт. ст., 1936. Т. 1. С. 103–125.

Климат России / Под ред. Н.В.Кобышевой. Л.: Гидрометеиздат, 2001. 655 с.

Кобак К.И. Биотические компоненты углеродного цикла. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 248 с.

Козловская Л.С., Медведева В.М., Пьявченко Н.И. Динамика органического вещества в процессе торфообразования. Л.: Наука, 1978. 176 с.

Конвенция по изменению климата // Секретариат UNFCCC, 1992. 30 с.

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

Корняк В.С., Чертовской В.Г. Биомасса древесного полога сосняка сфагнового в предтундровой зоне // Материалы годичной сессии по итогам НИР за 1976 год. Архангельск: АИЛиЛХ, 1977. С. 14–15.

Корчагин А.А. Влияние пожаров на лесную растительность и восстановление ее после пожара на европейском Севере // Тр. Ботан. ин-та АН СССР. Сер. 3 (Геоботаника). М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1954. Вып. 9. С. 75–149.

Корчагин А.А. Растительность северной половины Печоро-Илычского заповедника // Тр. Печоро-Илычского заповедника. М., 1940. Т. 2. С. 5–412.

Косых Н.П., Мироничева-Токарева Н.П., Паршина Е.К. Биологическая продуктивность болот лесотундры Западной Сибири // Вестник ТГПУ, 2008. Вып. 4 (78). С. 53–57.

Красная книга Республики Коми / Отв. ред. А.И. Таскаев. Сыктывкар, 2009. 791 с.

Кудеяров В.Н., Заварзин Г.А., Благодатский С.А. и др. Пулы и потоки углерода в наземных экосистемах России. М.: Наука, 2007. 315 с.

Кудеяров В.Н., Курганова И.Н. Дыхание почв России: анализ базы данных, многолетний мониторинг, моделирование, общие оценки // Почвоведение, 2005. № 9. С. 1112–1121.

Кудеяров В.Н., Хакимов Ф.И., Деева Н.Ф., Ильина А.А., Кузнецова Т.В., Тимченко А.В. Оценка дыхания почв России // Почвоведение, 1995. № 1. С. 33–42.

Кузнецов М.А. Динамика содержания органического углерода в заболоченных ельниках средней тайги: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Сыктывкар, 2010.

Курбанов Э.А. Бюджет углерода сосновых экосистем Волго-Вятского района. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2002. 300 с.

Курбанов Э.А. Углероддепонирующие насаждения Киотского протокола // Йошкар-Ола: МарГТУ, 2007. 184 с.

Курбатский Н.П. Исследование количества и свойств лесных горючих материалов // Вопросы лесной пирологии. Красноярск, 1970. С. 5–58.

Курганова И.Н., Кудеяров В.Н. Оценка потоков диоксида из почв таежной зоны России // Почвоведение, 1998. № 9. С. 1058–1070.

Курганова И.Н. Эмиссия и баланс диоксида углерода в наземных экосистемах России: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. М., 2010. 50 с.

Кутявин И.Н. Строение древостоев и состояние подроста старовозрастных сосняков в предгорьях Урала (бассейн верхней Печоры) // Лесоведение, 2013. № 1. С. 46–55.

Ладанова Н.В., Тужилкина В.В. Структурная организация и фотосинтетическая активность хвои ели сибирской. Сыктывкар, 1992. 100 с.

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

Лазарев Н.А. Леса Коми АССР // Леса СССР. М., 1966. Т. 1. С. 197–217.

Лазарев Н.А. Процессы смены древесных пород и формирование состава насаждений. Сыктывкар, 1965. С. 102–112. (Тр. Коми филиала АН СССР, № 14).

Ларин В.Б., Паутов Ю.А. Формирование хвойных молодняков на вырубках северо-востока европейской части СССР. Л.: Наука, 1989. 144 с.

Ларионова А.А., Розонова Л.Н. Суточная, сезонная и годовая динамика выделения CO₂ из почвы // Дыхание почвы. Пушино, 1993. Кн. 1. С. 59–68.

Лащенкова А.Н. Березовые леса: равнинные // Производительные силы Коми АССР. М.-Л., 1954. Т. 3. Ч. 1. С. 186–206.

Лащенкова А.Н. Осиновые леса: равнинные // Производительные силы Коми АССР. М.-Л., 1954. Т. 3. Ч. 1. С. 219–222.

Лащенкова А.Н. Сосновые леса // Производительные силы Коми АССР. М.-Л., 1954. Т. 3. Ч. 1. С. 126–157.

Лащенкова А.Н. Типологическая характеристика лесов // Леса и лесная промышленность Коми АССР. Л., 1961. С. 102–137.

Леса Республики Коми / Под ред. Г.М. Козубова и А.И. Таскаева. М.: ДиК, 1999. 332 с.

Лесная энциклопедия. В 2-х т. М.: Советская энциклопедия, 1985. 563 и 632 с.

Лесное хозяйство и лесные ресурсы Республики Коми / Под ред. Г.М. Козубова, А.И. Таскаева. М.: ДиК, 2000. 512 с.

Лесное хозяйство Республики Коми. Сыктывкар: Комистат, 2012. 113 с.

Лесной кодекс Российской Федерации (<http://www.rosleshoz.gov.ru/docs/federal/codex>).

Лесной фонд России (по учету на 1 января 2003 года): Справочник. М.: ВНИИЛМ, 2003. 640 с.

Лесные экосистемы Енисейского меридиана / Под ред. Ф.И. Плешикова. Новосибирск, 2002. 356 с.

Листов А.А. Боры-беломошники. М.: Агропромиздат, 1986. 181 с.

Лопес де Гереню В.О., Курганова И.Н., Замолодчиков Д.Г., Кудеяров В.Н. Методы количественной оценки потоков диоксида углерода из почв // Методы исследований органического вещества почв. М.: Россельхозакадемия, 2005. С. 408–425.

Лопес де Гереню В.О., Курганова И.Н., Розанова Л.Н., Кудеяров В.Н. Годовая эмиссия диоксида углерода из почв южнотаежной зоны России // Почвоведение, 2001. № 9. С. 1045–1059.

Львов П.Н., Ипатов Л.Ф. Лесная типология на географической основе. Архангельск: Сев.-зап. книж. изд-во, 1976. 195 с.

Манов А.В. Строение древостоев притундровых ельников европейского Северо-Востока // ИВУЗ. Лесной журнал, 2008. № 5. С. 43–51.

Макаров В.Н. Газовый режим почвы. М.: Агропромиздат, 1988. 105 с.

Мамаев В.В., Молчанов А.Г. Зависимость выделения CO_2 с поверхности почвы от факторов окружающей среды в дубравах южной лесостепи // Лесоведение, 2004. № 1. С. 56–67.

Мартыненко В. А. Темнохвойные леса // Леса Республики Коми / Под ред. Г.М. Козубова и А.И. Таскаева. М.: ДиК, 1999. С. 133–184.

Мартынюк З.П., Бобкова К.С., Тужилкина В.В. Баланс углерода в хвойных фитопленозах // Физиология растений, 1998. Т. 45. № 6. С. 794–798.

Машика А.В. Эмиссия диоксида углерода с поверхности подзолистой почвы // Почвоведение, 2006. № 12. С. 1457–1464.

Мелехов И.С. Лесоведение и лесоводство. М., 1970. 176 с.

Мелехов И.С. Влияние пожаров на лес. М.-Л.: Гослестехиздат, 1948. 126 с.

Мелехов И.С. Лесная пирология: Учебное пособие. М.: МЛТИ, 1976. Вып. 1. 71 с.

Мелехов И.С. Природа леса и лесные пожары. Архангельск: ОГИЗ, 1947. 32 с.

Мелехов И.С. Пути повышения производительности лесов в таежной зоне // Некоторые вопросы ведения лесного хозяйства на Севере. Архангельск, 1954. С.5–18.

Мелехов И.С., Душа-Гудым С.И. Лесная пирология. М., 1981. Вып. 3. 91 с.

Методы исследований болотных экосистем таежной зоны. Л., 1991. 128 с.

Мина В.Н. Биологическая активность лесных почв и ее зависимость от физико-географических условий и состава насаждений // Почвоведение, 1957. № 10. С. 73–79.

Мироньчева-Токарева Н.П., Косых Н.П., Паршина Е.К. Компоненты углеродного баланса на болотах средней тайги и лесотундры Западной Сибири // Торфяники Западной Сибири и цикл углерода: прошлое и настоящее: Матер. II Международ. полев. симпоз. (Ханты-Мансийск, 24 августа–2 сентября 2007 г.) / Под ред. акад. С.Э. Вомперского. Томск: Изд-во НТЛ, 2007. С. 117–118.

Моделирование динамики органического вещества в лесных экосистемах / Отв. ред. В.Н. Кудеяров. М.: Наука, 2007. 380 с.

Мокроносов А.Т. Фотосинтез и изменение содержания CO_2 в атмосфере // Природа, 1994. № 7. С. 25–27.

Молчанов А.Г. Баланс CO_2 в экосистемах сосняков и дубрав в разных лесорастительных зонах. Тула: Гриф и К, 2007. 284 с.

Мохов И.И., Елисеев А.В., Денисов С.Н. Модельная диагностика изменений эмиссии метана болотными экосистемами во второй половине XX века с использованием данных реанализа // Доклады академии наук, 2007. Т. 417. № 2. С. 258–262.

Надуткин В.Д., Лазарев Н.А. Еловые леса Коми АССР, их использование и возобновление. Сыктывкар, 1963. 32 с.

Надуткин В.Д., Модянов А.Н. Надземная фитомасса древесных растений в сосняках зеленомошных // Вопросы экологии сосняков Севера. Сыктывкар, 1972. С. 70–80. (Тр. Коми фил. АН СССР, № 24).

Наумов А.В. Дыхание почвы: составляющие, экологические функции, географические закономерности. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. 208 с.

Непомилуева Н.И. Лиственничные (*Larix sibirica*) редколесья Приполярного Урала // Изучение и охрана растительности Севера. Сыктывкар, 1984. С. 51–68.

Непомилуева Н.И., Лащенкова А.Н. Таежные эталоны европейского Северо-Востока: (охраняемые территории и генетические резерваты). Сыктывкар, 1993. 146 с.

Никифорова Л.Д. Изменение природной среды в голоцене на северо-востоке европейской части СССР: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М.: МГУ, 1980. 18 с.

Никонов М. Н. Торфяники средней Печоры // Тр. Ин-та леса АН СССР. М., 1953. Т. 13. С. 148–157.

Никонов М.Н. Районирование торфяного фонда европейской территории СССР // Тр. Центр. торфо-болот. станции, 1960. Т. 1. С. 5–16.

Одум Ю. Основы экологии. М.: Мир, 1975. 740 с.

Ольчев А.В., Курбатова Ю.А., Варлагин А.В., Выгодская Н.Н. Модельный подход для описания переноса CO₂ между лесными экосистемами и атмосферой // Лесоведение, 2008. № 3. С. 3–14.

Орешкин Д.Г., Мирин Д.М., Матвеев И.В. Полевая практика по геоботанике: для студентов старших курсов. СПб., 2004. 178 с.

Осипов А.Ф. Динамика содержания органического углерода в заболоченных сосняках средней тайги: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Сыктывкар, 2011.

Осипов А.Ф., Кузнецов М.А. Содержание органического углерода в болотно-подзолистых почвах хвойных лесов средней тайги европейского Северо-Востока // Лесоведение, 2010. № 6. С. 86–91.

Осипов А.Ф., Кузнецов М.А. Содержание органического углерода в болотно-подзолистых почвах хвойных лесов средней тайги // Лесоведение, 2010. № 6. С. 65–70.

Основы лесного законодательства Российской Федерации. М., 1993. 63 с.

Особо охраняемые природные территории Республики Коми: Итоги анализа пробелов и перспективы развития. Сыктывкар, 2011. 256 с.

Охрана лесов и ответственность за лесонарушения: Сборник нормативных актов. М.: Гослесхоз СССР, 1987. С. 148–149.

Подзолистые почвы центральной и восточной частей европейской территории СССР. Л.: Наука, 1980. 301 с.

Полевая геоботаника / Под ред. Е.М. Лавренко, А.А. Корчагина. М.-Л., 1959. Т. 1. 444 с.

Положение о федеральном государственном учреждении «Национальный парк «Югыд ва» // СПС «Консультант Плюс».

Постановление правительства Российской Федерации от 23 апреля 1994 г. № 377 «О создании в Республике Коми национального парка «Югыд ва» Федеральной службы лесного хозяйства России» // СПС «Консультант Плюс».

Попов Э.Г., Таланов А.В., Курец В.К. Эколого-физиологические характеристики ряда автохтонных видов древесных растений и мхов Карелии // Труды Карельского научного центра РАН, 2006. Вып. 10. С. 105–110.

Постановление правительства Республики Коми от 1 сентября 2009 г. № 256 «О внесении изменений в некоторые нормативные правовые акты Республики Коми об особо охраняемых природных территориях республиканского значения, расположенных на территории муниципального образования городского округа «Ухта» // СПС «Консультант Плюс».

Постановление правительства Республики Коми от 28 апреля 2006 г. № 95 «О внесении изменений в нормативные правовые акты о заказнике республиканского значения «Белый» // СПС «Консультант Плюс».

Постановление правительства Республики Коми от 30 декабря 2008 г. № 385 «О внесении изменений в нормативные правовые акты Республики Коми о комплексном заказнике республиканского значения «Белоборский» // СПС «Консультант Плюс».

Постановление правительства Республики Коми от 5 мая 2010 г. № 130 «О внесении изменений в нормативные правовые акты Республики Коми о комплексном заказнике республиканского значения «Верхне-Локчимский» // СПС «Консультант Плюс».

Постановление правительства Республики Коми от 7 февраля 2012 г. № 30 «О внесении изменений в некоторые нормативные правовые акты Республики Коми» // СПС «Консультант Плюс».

Постановление правительства Российской Федерации от 23 апреля 1994 г. № 377 «О создании в Республике Коми Национального парка «Югыд ва» Федеральной службы лесного хозяйства России» // СПС «Консультант Плюс».

Постановление совета министров Коми АССР от 27 марта 1964 г. № 127 «Об объявлении заказником массива смешанных кедрово-еловых лесов в Позтыкеросском лесничестве Корткеросского леспромхоза» // СПС «Консультант Плюс».

Постановление совета министров Коми АССР от 26 сентября 1989 г. № 193 «Об организации новых заказников и памятников природы в Коми АССР» // СПС «Консультант Плюс».

Постановление совета министров Республики Коми от 1 марта 1993 г. № 110 «Об утверждении положений о заказниках и памятниках природы республиканского значения и организации новых заказников» // СПС «Консультант Плюс».

Пристова Т.А. Компоненты углеродного цикла в лиственно-хвойном насаждении средней тайги // Лесоведение, 2010. С. 12–19.

Продуктивность и круговорот элементов в фитоценозах Севера // Отв. ред. В.В. Пономарев. Л., 1975. 130 с.

Пулы и потоки углерода в наземных экосистемах России / Отв. ред. Г.А. Заварзин. М.: Наука, 2007. 315 с.

Пьявченко Н.И. О генезисе бугристого рельефа торфяников в северо-восточной части Европейской России // Почвоведение, 1949. № 5. С. 276–284.

Пьявченко Н.И. Торфяники Коми АССР и их использование в сельском хозяйстве // Сельское хозяйство Коми АССР. М., 1951. С. 61–73.

Пьявченко Н.И. Бугристые торфяники. М., 1955. 278 с.

Растительность европейской части СССР / Под ред. С.А. Грибовой, Т.И. Исаченко и Е.А. Лавренко. Л., 1980. 426 с.

Раевский Б.В. Опыт интродукции сосны скрученной на европейском Севере России // Экологические проблемы северных регионов и пути их решения: Матер. междунар. конф. Апатиты, 2004. С. 78–80.

Раевский Б.В. Фенология и особенности развития сосны скрученной на ранних этапах онтогенеза // Лесной журнал, 1992. № 2. С. 35–40.

Раевский Б.В. Ход роста смешанных культур сосны скрученной и сосны обыкновенной в южной Карелии // Изв. Коми НЦ УрО РАН, 2010. № 1. С. 31–38.

Роде А.А. Методы изучения водного режима почв. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 244 с.

Роде А.А. Система методов исследования в почвоведении. Новосибирск, 1971. 92 с.

Родин Л.Е., Базилевич Н.И. Динамика органического вещества и биологический круговорот в основных типах растительности Земного шара. М.-Л.: Наука, 1965. 256 с.

Рожков В.А., Вагнер В.В., Когут Б.М. и др. Запасы органических и минеральных форм углерода в почвах России // Углерод в биогеоценозах / Отв. ред. И.А. Шилов. М., 1997. С. 5–58.

Романова Е. А. Геоботанические основы гидрологического изучения верховых болот. Л., 1961. 244 с.

Русанова Г.В., Слобода А.В., Бушуева Е.Н. Биологический круговорот элементов в сосняке лишайниковом подзоны средней тайги Коми АССР // Лесоведение, 1977. № 2. С. 13–19.

Рысин Л. П. Сосновые леса европейской части СССР. Л., 1975. 212 с.

Рысин Л.П., Савельева Л.И. Еловые леса России. М., 2002. 335 с.

Савельева Т.С. О дешифровочных признаках болот // Тр. ГИИ. Вопр. гидрологии болот. Л., 1977. Вып. 236. С. 12–27.

Савич-Любичкая Л.И., Смирнова З.Н. Определитель сфагновых мхов СССР. Л., 1968. 112 с.

Санников С.Н. Лесные пожары как фактор преобразования структуры, возобновления и эволюции биогеоценозов // Экология, 1981. № 6. С. 10–20.

Санников С.Н. Лесные пожары как эволюционно-экологический фактор возобновления популяции сосны в Зауралье // Горение и пожары в лесу. Красноярск, 1973. С. 236–277.

Санников С.Н. Циклически эрозивно-пирогенная теория естественного возобновления сосны обыкновенной // Экология, 1983. № 1. С. 10–19.

Санников С.Н. Экология и география естественного возобновления сосны обыкновенной. М.: Наука, 1992. 264 с.

Семенов Б.А., Цветков В.Ф., Чибисов Г.А., Елизаров Ф.П. Притундровые леса европейской части России (природа и ведение хозяйства). Архангельск, 1998. 332 с.

Семенов Б.А., Цветков В.Ф. Лесорастительное районирование предтундровой зоны европейской части СССР: Матер. Междунар. симпозиума «Северные леса: состояние, динамика, антропогенное воздействие». М.: Госкомлес СССР, 1990. Ч. II. С. 188–189.

Семенов М.В., Кравченко И.К., Семенов В.М., Кузнецова Т.В., Дулов Л.Е., Удальцов С.Н., Степанов А.Л. Потоки диоксида углерода, метана и закиси азота в почвах катены правобережья р. Ока (Московская область) // Почвоведение, 2010. № 5. С. 582–590.

Семенова Н.М. Состояние, использование и охрана торфяных болот в Томской области // Охрана природы. Томск: Изд-во НТЛ, 2001. Вып. 2. С. 69–86.

Синькевич С.М., Бахмет О.Н., Иванчиков А.А. Роль почв в региональном балансе углерода в сосновых лесах Карелии // Почвоведение, 2009. № 3. С. 290–300.

Слободкин А.И., Паников Н.С., Заварзин Г.А. Образование и потребление метана микроорганизмами в болотах тундры и средней тайги // Микробиология, 1992. Т. 61. Вып. 4. С. 683–691.

Смагин А.В. Газовая фаза почв. М.: МГУ, 1999. 200 с.

Смагин А.В., Садовникова Н.Б., Смагина М.В. и др. Моделирование динамики органического вещества почв. М., 2001. 120 с.

Смирнов В.Н. К вопросу о взаимосвязи между продукцией почвенной углекислоты и производительностью лесных почв // Почвоведение, 1955. № 6. С. 21–31.

Состояние изученности природных ресурсов Республики Коми. Сыктывкар, 1997. 200 с.

Софронов М.А., Вакуров А.Д. Огонь в лесу. Новосибирск: Наука, 1981. 128 с.

Стафеев Б.Л. Особенности выращивания семян сосны скрученной в Архангельской области // Мат. отч. сесс. по итогам НИР за 1989 г. Архангельск: АИЛиЛХ, 1990. С. 79–80.

Стенина Т.А. Микрофлора подзолистых почв Северо-Востока европейской части СССР // Современные процессы в подзолистых почвах Северо-Востока европейской части СССР. Л., 1974. С. 92–107.

Страхов В.В. Состояние лесных ресурсов Европейско-Уральской части России // Леса русской равнины. М.: ИНИОН РАН, 1993. С. 201–208.

Страхов В.В., Писаренко А.И., Борисов В.А. Глобализация лесного хозяйства. М.: ВНИИЦлесресурс, 2001. 400 с.

Стриганова Б.Р., Кудряшова И.В., Тиунов А.В. Кормовая активность почвенного червя *Eisenia nordenskioldi* (Eisen) (*Oligochaeta*, *Lumbricidae*) // Почвоведение, 1987. Вып. 1. С. 72–77.

Сукачев В.Н. Руководство к исследованию типов леса. М.-Л., 1931. 328 с.

Сукачев В.Н. Основные понятия лесной биогеоценологии // Основы лесной биогеоценологии. М., 1964. С. 5–49.

Суворов Г.Г., Глаголев М.В. Продолжительность «периода эмиссии метана» // Материалы VI всероссийской научной школы «Болота и биосфера». Томск, 2007. С. 270–274.

Тарасов М.Е. Методические подходы к оценке скорости разложения древесного детрита // Лесоведение, 2002. № 5. С. 32–38.

Тарчевский И.А. Основы фотосинтеза. М., 1977. 254 с.

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

Титлянова А.А. Чистая первичная продукция травяных и болотных экосистем // Сиб. экол. журн., 2007. № 5. С. 763–770.

Ткаченко М.Е. Общее лесоводство. М.-Л.: Гослесбумиздат, 1952. 599 с.

Торфяной фонд Коми АССР / Под ред. М.Н. Никонова. М., 1958. 130 с.

- Торфяные месторождения Коми АССР. М., 1984.
- Торфяные ресурсы Республики Коми. Сыктывкар, 2000. 613 с.
- Трефилова О.В., Ведрова Э.Ф., Кузьмичев В.В.* Годичный цикл углерода в зеленомошных сосняках Енисейской равнины // Лесоведение, 2011. № 1. С. 3–12.
- Тужилкина В.В., Бобкова К.С., Мартынюк З.П.* Хлорофилльный индекс и ежегодный фотосинтетический сток углерода в хвойные фитоценозы на европейском севере России // Физиология растений, 1998. Т.45. № 4. С.594–600.
- Тюрин Е.Г.* Воспроизводство хвойных лесов на европейском Севере // Основные направления совершенствования выращивания хвойных лесов. Пермь, 1982. С. 38–41.
- Тюрин Е.Г.* Динамика состава смешанных сосновых молодняков с возрастом // Лесоведение, 1978. № 1. С.46–53.
- Углерод в экосистемах лесов и болот России / Под ред. В.А. Алексева и Р.А. Бердси. Красноярск, 1994. 232 с.
- Усольцев В.А.* Биологическая продуктивность лесов Северной Евразии: методы, база данных и ее приложения. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 636 с.
- Усольцев В.А.* Фитомасса и первичная продукция лесов Евразии. Екатеринбург: УрО РАН, 2010. 570 с.
- Усольцев В.А.* Формирование банков данных о фитомассе лесов. Екатеринбург: УрО РАН, 1998. 541 с.
- Усольцев В.А., Залесов С.В.* Деponирование углерода в насаждениях некоторых экотонных и на лесопокрытых площадях Уральского федерального округа. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2005. 223 с.
- Уткин А.И.* Биологическая продуктивность лесов (методы изучения и результаты) / Лесоведение и лесоводство. М.: ВИНТИ АН СССР, 1975. Т. 1. С. 9–189. (Итоги науки и техники).
- Уткин А.И.* Углеродный цикл и лесоводство // Лесоведение, 1995. № 5. С. 3–20.
- Уткин А.И., Замолотчиков Д.Г., Коровин Г.Н., Нефедьев В.В., Гульбе Т.А., Гульбе Я.И., Гамбург С.П.* Определение запасов углерода на пробных площадях: сравнение аллометрического и конверсионно-объемного методов // Лесоведение, 1997. № 5. С. 51–65.
- Федорец Н.Г., Бахмет О.Н.* Экологические особенности трансформации соединений углерода и азота в лесных почвах. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2003. 240 с.
- Федорков А.Л., Туркин А.А.* Экспериментальные культуры сосны скрученной в Республике Коми // Лесоведение, 2010. № 1. С. 70–74.
- Федоров Ю.А., Гарькуша Д.Н., Хромов М.И.* Эмиссия метана с торфяных залежей Иласского болотного массива Архангельской области // Известия РГО, 2008. Т. 140. Вып. 5. С. 40–46.
- Федяев А.Л., Бормотов В.И., Бирюков С.Ю.* Американка на европейском севере России // Экологические проблемы Севера. Межвузовский сб. научн. тр. / Отв. ред. П.А. Феклистов. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2003. Вып. 6. С. 98–100.
- Филиппов А.В.* Оценка запасов углерода в фитомассе березняков Северной Евразии и их география: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Екатеринбург, 2005. 20 с.
- Флора Северо-востока европейской части СССР как ботанико-географическая система / В.А. Мартыненко, Г.В. Железнова, М.В. Гецен, З.Г. Улле, А.Н. Лавренко. Сыктывкар, 1987. 24 с. (Сер. Научн. докл. / Коми филиал АН СССР. Вып. 166).
- Флора северо-востока европейской части СССР Л.: Наука, 1974. Т. 1. 274 с. 1976. Т. 2. 316 с. Т. 3. 293 с. 1977. Т. 4. 311 с.
- Фролова Л.Н.* Интенсивность выделения углекислоты с поверхности почвы сосновых и еловых лесов. Сыктывкар, 1961. С. 123–129. (Тр. Коми филиала АН СССР. № 11).
- Фураев В.В.* Долгосрочное прогнозирование потерь лесных ресурсов от пожаров // Лесное хозяйство, 1997. № 4. С. 49–50.
- Фураев В.В.* Роль пожаров в процессе лесообразования. Новосибирск: Наука, 1996. 253 с.

- Фуряев В.В., Киреев Д.М.* Изучение послепожарной динамики лесов на ландшафтной основе. Новосибирск: Наука, 1979. 160 с.
- Хабибуллина Ф.М.* Почвенная микобиота естественных и антропогенно нарушенных экосистем северо-востока европейской части России: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Сыктывкар, 2009. 40 с.
- Храмов А.А., Валуцкий В.И.* Лесные и болотные фитоценозы Восточного Васюганья. Новосибирск: Наука, 1977. 220 с.
- Цветков В.Ф.* Сосняки Кольской лесорастительной области и ведение хозяйства в них. Архангельск, 2002. 380 с.
- Цинзерлинг Ю.Д.* Очерк растительности болот по среднему течению р. Печоры // Изв. Гл. бот. сада СССР, 1929. Вып. 1–2. С. 95–128.
- Чебакова Н.М., Колле О., Золотухин Д.А., Ллойд Дж., Арнет А., Парфенова Е.И.* Годичная и сезонная динамика энерго- и массообмена в сосновом лесу средней тайги // Лесные экосистемы Енисейского Меридиана. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. С. 52–64.
- Черепанов С.К.* Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб.: Мир и семья, 1995. 992 с.
- Чернов А. А.* Геологическое строение и полезные ископаемые // Производительные силы Коми АССР. М.-Л., 1953. Т. 1. С. 34–219.
- Чернова Н.М., Бызова Ю.В., Уваров А.В.* Метаболическая активность и биомасса клещей в подстилке // Роль животных в функционировании экосистем / Под ред. Н.М. Чернова. М.: Наука, 1975. С. 151–154.
- Чертовской В.Г.* Еловые леса европейской части СССР. М.: Лесная пром-ть, 1978. 176 с.
- Чертовской В.Г., Елизаров Ф.П., Семенова Б.А., Корняк В.С.* Лесорастительные условия и продуктивность предтундровых лесов // Экология таежных лесов. Архангельск, 1978. С. 32–41.
- Честных О.В., Замолодчиков Д.Г., Карелин Д.В.* Запасы органического вещества в почвах тундровых и лесотундровых экосистем России // Экология, 1999. № 6. С. 426–432.
- Честных О.В., Замолодчиков Д.Г., Уткин А.И.* Общие запасы биологического углерода и азота в почвах лесного фонда России // Лесоведение, 2004. № 4. С. 30–42.
- Шанин В.Н., Михайлов А.В., Быховец С.С., Комаров А.С.* Глобальные изменения климата и баланс углерода в лесных экосистемах бореальной зоны: имитационное моделирование как инструмент прогноза // Известия Российской академии наук. Серия биологическая, 2010. № 6. С. 719–730.
- Швиденко А.З., Нильсон С.* Динамика лесов России в 1961–1993 и его балльный углеродный бюджет // Лесная таксация и лесоустройство. Красноярск, 1997. С. 15–23.
- Швиденко А.З., Нильссон С., Столбовой В.С.* и др. Опыт агрегированной оценки основных показателей биопродукционного процесса и углеродного бюджета наземных экосистем России. 1. Запасы растительной органической массы // Экология, 2000. № 6. С. 403–410.
- Швиденко А.З., Щепашенко Д.Г., Нильссон С., Булуй Ю.И.* Таблицы и модели роста и продуктивности основных лесообразующих пород Северной Евразии (нормативно-справочные материалы). М.: Федеральное агентство лесного хозяйства. Международный институт прикладного системного анализа, 2008. 886 с.
- Швиденко А.З., Щепашенко Д.Г., Нильссон С.* Оценка запасов древесного детрита в лесах России // Лесная таксация и лесоустройство, 2009. № 1. С. 133.
- Шенников А.П.* Введение в геоботанику. Л.: Изд-во ЛГУ, 1964. 447 с.
- Шнырёв Н.А., Глаголев М.В.* Характерные значения потоков метана из болот Западной Сибири // Болота и биосфера: Сборник материалов VI Всероссийской научной школы. Томск: Изд-во ЦНТИ, 2007. С. 300–305.
- Щепашенко Д.Г., Швиденко А.З., Шалаев В.С.* Биологическая продуктивность и бюджет углерода лиственничных лесов Северо-Востока России. М.: Московский гос. ун-т леса, 2008. 296 с.

Экологические проблемы поглощения углекислого газа посредством лесовосстановления и лесоразведения в России (Аналитический обзор) / *А.С. Исаев, Г.Н. Корovin, В.И. Сухих* и др. М.: Центр экологической политики России, 1995. 156 с.

Эколого-биологические основы продуктивности таежных лесов европейского Севера / *К.С. Бобкова, Э.П. Галенко, Л.А. Верховланцева* и др. Л., 1981. 232 с.

Эколого-физиологические основы продуктивности сосновых лесов европейского Северо-Востока / *К.С. Бобкова, В.В. Тужилкина, С.Н. Сенькина* и др. Сыктывкар, 1993. 176 с.

Юдин Ю. П. Березовые леса: горные // Там же. С. 207–219.

Юдин Ю. П. Лиственничные леса // Там же. С. 158–185.

Юдин Ю.П. Меоботаническое районирование Коми АССР // Производительные силы Коми АССР. М.: Изд-во АН СССР, 1954. Т. 3. Ч. 1. С. 323–359.

Юдин Ю.П. Темнохвойные леса // Производительные силы Коми АССР. М., 1954. Т. 3. Ч. 1. С. 42–126.

Юрковская Т.К. Болота // Растительность европейской части СССР. Л., 1980. С. 300–346.

Ялынская Е.Е. CO₂-газообмен почвы и напочвенного покрова в сосняке черничном // Экология, 1999. № 6. С. 411–415.

Ялынская Е.Е. Экофизиология дыхания сосны и CO₂-газообмен в сосновом ценозе: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Сыктывкар, 1999. 28 с.

Яцко Я.Н., Дымова О.В., Головки Т.К. Пигментный комплекс зимне- и вечнозеленых растений в подзоне средней тайги европейского северо-востока // Ботанический журнал, 2009. № 12. С. 1812–1820.

Aitken S., Hannerz M. Genecology and gene resource management strategies for conifer cold hardiness // Conifer cold hardiness. F.I. Bigras and S.I. Colombo (eds.). Printed in the Netherlands. 2001. P. 23–53.

Alm J. Saarnio S., Nykänen H., Silvola J., Martikainen P. Winter CO₂, CH₄ and N₂O fluxes on some natural and drained boreal peatlands // Biogeochemistry. 1999. Vol. 44. № 2. P. 163-186.

Arevola C.B.M., Bhatti J.S., Chang S.X., Sidders D. Land use change effects on ecosystem carbon balance: From agricultural to hybrid poplar plantation // Agriculture, Ecosystems and Environment. 2011. Vol. 141. P.342–349.

Arneth A., Kurbatova J., Kolle O., Shibistova O.B., Lloyd J., Vygodskaya N.N., Schulze E.-D. Comparative ecosystem-atmosphere exchange of energy and mass in a European Russian and a central Siberian bog II. Interseasonal and interannual variability of CO₂ fluxes // Tellus. 2002. № 54B. P. 514-530.

Arneth A., Veenendaal E.M., Best C., Timmermans W., Kolle O., Montagnani L., Shibistova O. Water use strategies and ecosystem-atmosphere exchange of CO₂ in two highly seasonal environments // Biogeosciences. 2006. Vol. 3. №4. P. 421-437.

Aurela M., Laurila T., Tuovinen J.-P. Annual CO₂ balance of a subarctic fen in northern Europe: Importance of the wintertime efflux // Journal of geophysical research. 2002. Vol. 107. № D21. P. 4607-4618.

Aurela M., Laurila T., Tuovinen J.-P. Seasonal CO₂ balances of a subarctic mire // Journal of geophysical research. 2001. Vol. 106. № D2. P. 1623-1637.

Aurela M., Laurila T., Tuovinen J.-P. The timing of snow melt controls the annual CO₂ balance in a subarctic fen // Geophysical Research Letters. 2004. V. 31. L16119. doi:10.1029/2004GL020315.

Birdsey R.A. Inventory of carbon storage and accumulation in U.S. forest ecosystems // Research in forest inventory, growth yield. Blaskburg, Virginia, Publ. FWS-3 90. 1990. P. 24-31.

Blaney H.F., Criddle W.D. Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data. USDA Soil Conserv. Service Techn. 1950. Pap. 96.

Bobbink R., Hicks K., Galloway J., Spranger T., Alkemade R., Ashmore M., Bustamante M., Cinderby S., Davidson E., Dentener F., Emmett B., Erisman J.-W., Fenn M., Gilliam F., Nordin A., Pardo L., de Vries W. Global assessment of nitrogen deposition

effects on terrestrial plant diversity: a synthesis. *Ecological Applications*. 2010. 20(1). P. 30-59.

Borken W., Savage K., Davidson E.A., Trumbore S.E. Effects of experimental drought on soil respiration and radiocarbon efflux from a temperate forest soil // *Global Change Biology*. 2006. Vol. 12. P. 177-193.

Breshears D.D., Myers O.B., Meyer C.W., Barnes F.J., Zou C.B., Allen C.D., McDowell N.G., Pockman W.T. Tree die-off in response to global change-type drought: mortality insights from a decade of plant water-potential measurements. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 2009. 7(4). P. 185-189.

Burba G., Anderson D. Eddy covariance flux measurements. LI-COR, Inc. USA, 2010. 213 p.

Chertov O., Komarov A., Kolström M., Pitkänen S., Strandman H., Zudin S., Kellomäki S. Modelling the long-term dynamics of populations and communities of trees in boreal forests based on competition for light and nitrogen. *Forest Ecology and Management*. 2003. 176. P. 355-369.

Chertov O.G., Komarov A.S., Bykhovets S.S., Kobak K.I. Simulated soil organic matter dynamics in forests of the Leningrad administrative area, northwestern Russia. *Forest Ecology and management*. 2002. 169. P. 29-44.

Chertov O.G., Komarov A.S., Loukianov A.M., Mikhailov A.V., Nadporozhskaya M.A., Zubkova E.V. The use of forest ecosystem model EFIMOD for research and practical implementation at forest stand, local and regional levels. *Forest Ecology and Management*. 2006. 194(1-3). P. 227-232.

Chertov O.G., Komarov A.S., Nadporozhskaya M., Bykhovets S.S., Zudin S.L. ROMUL – a model of forest soil organic matter dynamics as a substantial tool for forest ecosystem modeling. *Ecological Modelling*. 2001. 138. P. 289-308.

Conrad R. Soil microorganisms as controllers of atmospheric trace gases (H₂, CO₂, CH₄, OCS, N₂O and NO) // *Microbiological Reviews*. 1996. Vol. 60. P. 609-640.

Davidson E.A., Belk E., Boone R.D. Soil water content and temperature as independent or confounded factor controlling soil respiration in a temperate mixed hardwood forest // *Global Change Biology*. 1998. Vol. 4. P. 219-227.

den Hartog G., Neumann H.H., King K.M., Chipanshi A.C. Energy budget measurements using eddy correlation and Bowen ratio techniques at the Kinosheo Lake tower site during the Northern Wetlands Study // *Journal of geophysical research: Atmosphere*. 1994. Vol. 99. Issue D1. P. 1539-1549.

DeLuca T.H., Boisvenue C. Boreal forest soil carbon: distribution, function and modeling // *Forestry*. 2012. Vol. 85. № 2. P. 161-184.

Dindal D.L. (Ed.). *Soil Biology Guide*. New York: Wiley Inter-Science. 1990.

Dixon R.K., Krankina O.N. Forest fires in Russia: carbon dioxide emissions in the atmosphere // *Canadian journal of forest research*. 1993. № 23(4). P. 700-705.

Duchaufour P. Précis de pédologie. Paris: Masson. 1961. 481 p.

Edwards C.A., Bohlen P.J. *Biology and Ecology of Earthworms*. London: Chapman and Hall. 1996.

Ehhalt D.H. The atmospheric cycle of methane // *Tellus*. 1974. Vol. 26. P. 58-70.

Elfvig B., Ericsson, T., Rosvall O. The introduction of lodgepole pine for wood production in Sweden – a review // *Forest ecology and management*. 2001. Vol. 141. № 1-2. P. 15-30.

Ericsson, T. Lodgepole pine (*Pinus contorta* var. *latifolia*) breeding in Sweden – results and prospects based on early evaluations (Doctoral dissertation, Swedish University of Agricultural Sciences). 1994. 32 p.

Eriksson G., Ekberg I., Clapman D. An introduction to forest genetics. Uppsala: SLU. 2006. 187 p.

Foken Th., Wichura B. Tools for quality assessment of surface-based flux measurements // *Agricultural and forest meteorology*. 1996. №78. P. 83-105.

Garcia J.L., Patel B.K.C., Ollivier B. Taxonomic phylogenetic and ecological diversity of methanogenic Archaea // *Anaerobe*. 2000. Vol. 6. P. 205-226.

Global climate change: Economic dimensions of a cooperative international policy response beyond 2000 // ARABE. 1995. 197 p.

Hannerz M. Genetic and seasonal variation in hardiness and growth rhythm in boreal and temperate conifers—a review and annotated bibliography. SkogForsk (The Forestry Research Institute of Sweden). Report №2. 1998. 52 p.

Harmon M.E., Franklin J.F., Sivanson F.J. et al. Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems // *Adl. Ecol. Research*. 1986. Vol.15. P. 133-275.

Healy R.W., Striegl R.G., Russell T.F., Hutchinson G.L., Livingston G.P. Numerical evaluation of static-chamber measurements of soil-atmosphere gas exchange: Identification of physical processes // *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1996. Vol. 60. P. 740-747.

Heikkinen J. E. P., Elsakov V., Martikainen P.J. Carbon dioxide and methane dynamics and annual carbon balance in tundra wetland in NE Europe, Russia // *Global Biogeochemical Cycles*. 2002. Vol. 16. № 4. P. 62-77.

IPCC (Intergovernmental Panel On Climate Change). *Climate Change 2001//The Scientific Basis*. 2001. Cambridge University Press. Cambridge. 881 p.

IPCC. *Special Report on Emission Scenarios*. CUP. Cambridge. UK. 2000. 570 p.

Ito A. A global-scale simulation of the CO₂ exchange between the atmosphere and the terrestrial biosphere with a mechanistic model including stable carbon isotopes, 1953–1999 // *Tellus*. 2003. Vol. 55. P. 596-612.

Iverson L.R., Prasad A.M. Potential changes in tree species richness and forest community types following climate change. *Ecosystems*. 2001. 4. P. 186-199.

Iverson L.R., Prasad A.M. Predicting abundance of 80 tree species following climate change in the Eastern United States. *Ecological Monographs*. 1998. 68(4). P. 465-485.

Jensen K.D., Beier C., Michelsen A., Emmett B.A. Effects of experimental drought on microbial processes in two temperate heathlands at contrasting water conditions // *Applied Soil Ecology*. 2003. Vol. 24. P. 165–176.

Johnston M., Campagna M., Gray P., Kope H., Loo J., Ogden A., O'Neill G.A., Price D., Williamson T. Vulnerability of Canada's Tree Species to Climate Change and Management Options for Adaptation: An Overview for Policy Makers and Practitioners. Canadian Council of Forest Ministers. 2009. 44 p.

Joiner D.W., Lafleur P.M., McCaughly J.H., Barlett P.A. Interannual variability in carbon dioxide exchanges at a boreal wetland in the BOREAS northern study area // *Journal of Geophysical Research*. 1999. Vol. 104. № 27 P. 27663-27662.

Kang H., Freeman C. The influence of hydrochemistry on methane emissions from two contrasting northern wetlands // *Water, Air, and Soil Pollution*. 2002. №141. P. 263-272.

Kellomäki S., Kolström M. The influence of climate change on the productivity of Scots pine, Norway spruce, Pendula birch and Pubescent birch in southern and northern Finland. *Forest Ecology and Management*. 1994. 65. P. 201-217.

Kolari P., Pumpanen J., Rannik Ü., Ilvesniemi H., Hari P., Berninger F. Carbon balance of different aged Scots pine forests in Southern Finland // *Global Change Biology*. 2004. Vol. 10. P. 1106–1119.

Komarov A.S., Chertov O.G., Zudin S.L., Nadporozhskaya M.A., Mikhailov A.V., Bykhovets S.S., Zudina E.V., Zoubkova E.V. EFIMOD 2 – a model of growth and cycling of elements in boreal forest ecosystems. *Ecological Modelling*. 2003. 170. P. 373-392.

Komarov A.S., Shanin V.N. Comparative analysis of the influence of climate change and nitrogen deposition on carbon sequestration in forest ecosystems in European Russia: simulation modelling approach. *Biogeosciences*. 2012. 9 (11). 4757-4770.

Krankina O.N., Harmon M.E. Dynamics of the dead wood carbon pool in northernwestern Russian boreal forest // *Water, Air and Soil Pollution*, 1995. Vol. 82. № 1-2. P. 222-238.

Kurz W.A., Apps M.J. A 70-year retrospective analysis of carbon fluxes in the Canadian forest sector. *Ecological Applications*. 1999. 9. P. 526-547.

Kurz W.F., Apps M.J., Webb T.M., McNamee P.J. The carbon budget of the Canadian forest sector: Phase I. Information Report NOR-X-326. Forestry Canada, Northwest Region, Northern Forestry Centre, 1992. 93 p.

Kutzbach L., Wagner D., Pfeiffer E.-M. Effect of microrelief and vegetation on methane emission from wet polygonal tundra, Lena Delta, Northern Siberia // *Biogeochemistry*. 2004. № 69. P. 341-362.

Kutzbach L., Wille C., Pfeiffer E.-M. The exchange of carbon dioxide between wet arctic tundra and the atmosphere at the Lena River Delta, Northern Siberia // *Biogeosciences*. 2007. Vol. 4. № 5. P. 869-890.

Kuzyakov Y. Sources of CO₂ efflux from soil and review of partitioning methods // *Soil. Biol. Biochem.* 2006. Vol. 38. № 3. P. 425-448.

Lafleur P.M., McCaughey J.H., Joiner D.W., Bartlett P.A. Seasonal trends in energy, water, and carbon dioxide fluxes at a northern boreal wetland // *Journal of geophysical research*. 1997. Vol. 102. P. 29009 – 29020.

Lafleur P.M., Roulet N.T., Admiral S.W. Annual cycle of CO₂ exchange at a bog peatland // *Journal of geophysical research*. 2001. Vol. 106. P. 3071-3081.

Lähde, E., Nieminen J., Etholén, K., Suolaht, P. Older lodgepole pine stands in southern Finland // *Folia Forestalia*. 1982. № 553. 38 p.

Lange B. Key to Northern Boreal and Arctic species of *Sphagnum*, based on characteristics of the stem leaves // *Lindbergia*, 1982. Vol. 8. P. 1-29.

Larocque G.R., Paré D., Boutin R., Sarr L., Lacerte V., Ansseau C. Effective use of an experimental design in balsam fir (*Abies balsamea* (L.) Mill.) and black spruce (*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.) forest ecosystems located along a climatic gradient for the development of a carbon cycle process-based model. Abstracts of Conference ISEM 2009: Ecological Modelling for Enhanced Sustainability in Management. Quebec City. 2009. P. 157.

Lasslop G., Reichstein M., Papale D., Richardson A. D., Arneeth A., Barr A., Stoy P., Wohlfahrt G. Separation of net ecosystem exchange into assimilation and respiration using a light response curve approach: critical issues and global evaluation // *Global change biology*. 2010. №16. P. 187-208.

Laurila T., Soegaard H., Lloyd C. R., Aurela M., Tuovinen J.-P., Nordstroem C. Seasonal variations of net CO₂ exchange in European Arctic ecosystems // *Theoretical and applied ecology*. 2001. №70. P. 183-201.

Li Z., Kurz W.A., Apps M.J., Beukema S.J. Belowground biomass dynamics in the Carbon Budget Model of the Canadian Forest Sector: recent improvements and implications for the estimation of NPP and NEP. *Canadian Journal of Forest Research*. 2003. 33. P. 126-136.

Liu J., Vogelmann J.E., Zhu Z., Key C.H., Sleeter B.M., Price D.T., Chen J.M., Cochrane M.A., Eidenshink J.C., Howard S.M., Bliss N.B., Jiang H. **Estimating California forest biomass change using process model and land cover disturbance data.** Abstracts of Conference ISEM 2009: Ecological Modelling for Enhanced Sustainability in Management. Quebec City. 2009. P. 130.

Lloyd J., Taylor J.A. On the temperature dependence of soil respiration // *Functional ecology*. 1994. Vol. 8. № 3. P. 315 – 323.

Lund M., Lindroth A., Christensen T. R., Strøm L. Annual CO₂ balance of a temperate bog // *Tellus*. 2007. № 59B. P. 804-811.

Maanavilja L., Riutta T., Aurela M., Pulkkinen M., Laurila T., Tuittila E.-S. Spatial variation in CO₂ exchange at a northern alpine mire // *Biogeochemistry*. 2011. № 104. P. 325-345.

MacDonald J.A., Fowler D., Hargreaves K.J., Skiba U., Leith I.D., Murray M.B. Methane emission rates from a northern wetland; response to temperature, water table and transport // *Atmospheric Environment*. 1998. Vol. 32. №. 19. P. 3219-3227.

Mahli Y., Baldocchi D., Jarvis P. The carbon balance of tropical, temperate and boreal forests // *Plant, Cell, Environment*. 1999. Vol. 22. P. 715-740.

Maraldo K, Ravn H, Slotsbo S, Holmstrup M. Responses to acute and chronic desiccation stress in Enchytraeus (Oligochaeta: Enchytraeidae) // *Journal of Comparative Physiology. Biochemical, Systemic, And Environmental Physiology*. 2009. Vol. 179. P. 113-123.

Mikhailov A.V., Komarov A.S., Chertov O.G. Simulation of the carbon budget for different scenarios of forest management. *Eurasian Soil Science*. 2004. 37(1). P. 93-96.

Miltner A., Kopinke F.D., Kindler R., Selesi D., Hartmann A., Kästner M. Non-photosynthetic CO₂ fixation by soil microorganisms // *Plant and Soil*. 2005. Vol. 269. № 1-2. P. 193-203.

Mitchell T.D., Carter T.R., Jones P.D., Hulme M., New M. A comprehensive set of high resolution grids of monthly climate for Europe and the globe: the observed record (1901-2000) and 16 scenarios (2001-2100). Working Paper №. 55. Tyndall Centre for Climate Change Research. 2004. 25 p.

Moncrieff J.B., Massheder J.M., de Bruin H., Elbers J., Friborg T., Heusinkveld B., Kabat P., Scott S., Soegaard H., Verhoef A. A system to measure surface fluxes of momentum, sensible heat, water vapour and carbon dioxide // *Journal of hydrology*. 1997. № 188-189. P. 589-611.

Moore C.J. Frequency response corrections for eddy correlation systems // *Boundary-Layer Meteorology*. 1986. № 37. P. 17-35.

Nabuurs G.J., Mohren G.M.J. Modelling analysis of potential carbon sequestration in selected forest types // *Can. J. For. Res.* 1995. Vol. 25. № 7. P. 59-83.

Nikolova P. S., Raspe S., Andersen C. P., Mainiero R., Blaschke H., Matyssek R., Höberle K.-H. Effects of the extreme drought in 2003 on soil respiration in a mixed forest // *Eur. J. Forest Res.*, 2009. Vol. 128. P. 87-98.

Nilsson J-E. Seasonal changes in phenological traits and cold hardiness of F1-populations from plus-trees of *Pinus sylvestris* and *Pinus contorta* of various geographical origins // *Scand. J. For. Res.* 2001. № 16. P. 7-20.

Nordstroem C., Soegaard H., Christensen T.R., Friborg T., Hansen B.U. Seasonal carbon dioxide balance and respiration of a high-arctic fen ecosystem in NE-Greenland // *Theoretical and applied climatology*. 2001. № 70. P. 149-166.

Overpeck J.T., Bartlein P.J., Webb T.I. Potential magnitude of future vegetation change in eastern North America: comparisons with the past. *Science*. 1991. 254(5032):692-5.

Pajary B. Soil respiration in a poor upland site of Scots pine stand subjected to elevated temperatures and atmospheric carbon concentration // *Plant and soil*. 1995. Vol. 168-169. P. 563-570.

Panikov N.S., Dedysh S.N., Kolesnikov O.M., Mardini A.I., Sizova M.V. Metabolic and environmental control on methane emission from soils: mechanistic studies of mesotrophic fen in west Siberia // *Water, Air, and Soil Pollution*. 2001. № 1. P 415-428.

Pannatier E. G., Dobbertin M., Heim A., Schmitt M., Thimonier A., Waldner P., Frey B. Response of carbon fluxes to the 2003 heat wave and drought in three mature forests in Switzerland // *Biogeochemistry*. 2012. Vol. 107. P. 295-317.

Pearson R.G. Climate change and the migration capacity of species. *Trends in Ecology and Evolution*. 2006. 21(3). P. 111-113.

Pisarenko A., Strakhov V. Socio-Economic Assessment of the Russian Boreal Forests // *IIASA. WP-96-58*. 1996. P 1-45.

Reichstein M., Falge E., Baldocchi D., Papale D., Aubinet M., Berbigier P., Bernhofer C., Buchmann N., Gilmanov T., Granier A., Grünwald T., Havrankova K., Ilvesniemi H., Janouš D., Knohl A., Laurila T., Lohila A., Loustau D., Matteucci G., Meyers T., Miglietta F., Ourcival J.-M., Pumpanen J., Rambal S., Rotenberg E., Sanz M., Tenhunen J., Seufert G., Vaccari F., Vesala T., Yakir D., Valentini R. On the separation of net ecosystem exchange into assimilation and ecosystem respiration: review and improved algorithm // *Global change biology*. 2005. №11. P. 1424-1439.

Review of the Swedish tree breeding programme (<http://www.skogforsk.se/en/>).

Rusanen, M. and Grandholm, H. Finland's national strategy for adaptation to climate change. In: Koskela, J., Buck, A. and Teissier du Cros, E., editors. *Climate change and forest genetic diversity: Implications for sustainable forest management in Europe*. Bioversity International. Rome, Italy. 2007. P. 85-93.

Rustad L.E., Campbell J.L., Marion G.M., Norby R.J., Mitchell M.J., Hartley A.E., Cornelissen J.H.C., Gurevitch J. A meta-analysis of the response of soil respiration,

net nitrogen mineralization, and aboveground plant growth to experimental ecosystem warming. *Oecologia*. 2001. 126. P. 543-562.

Rytter R.-M. The potential of willow and poplar plantations as carbon sinks in Sweden // *Biomass and Bioenergy*. 2012. Vol.36. P.86-95.

Sabrekov A. F., Kleptsova I. E., Glagolev M. V., Maksyutov Sh., Machida T. Methane emission from middle taiga oligotrophic hollows of Western Siberia // *Вестник ТГПУ*. 2011. Вып. 5(107). С. 135-143.

Sanghi A.K., Michael K.S. Carbon Sequestration through reforestation: Cost and potential for New York. Air and Waste Management Association. Paper presented at the 84 th Annual Meeting and Axhibition, Vancouver. Canada. 14pp.

Santruckova H., Bird M.I. Elhottova D., Novak J., Picek T., Simek M., Tykva R. Heterotrophic fixation of CO₂ in soil // *Microbial Ecology*. 2005. Vol. 49. № 2. P. 218-225
SAS/STAT User's Guide. Version 8. Sas Institute Inc. Cary. NC. 1999. 3884 pp.

Schimel J.P. Plant transport and methane production as controls on methane flux from arctic wet meadow tundra//*Biogeochemistry*. 1995. № 28. P. 183-200.

Schlesinger W.H., Andrews J.A. Soil respiration and the global carbon cycle // *Biogeochemistry*. 2000. Vol. 48. P. 7-20.

Schroeder P., Ladd L. Slowing the increase of atmospheric carbon dioxide: a biological approach. *Climatic change*. 1991. P. 283-290.

Schulze E.-D., Lloyd J., Kelliher F.M., Wirth C., Rebmann C., Lühker B., Mund M., Khohl A., Milyukova I.M., Schulze W., Ziegler, W. Varlagin A.B., Sogachev A.F., Valentini R., Dore S., Grigoriev S., Kolle O., Panfyorov M.I., Tchebakova N., Vygodskaya N.N. Productivity of forests in the Eurosiberian boreal region and their potential to act as a carbon sink – a synthesis // *Global change biology*. 1999. № 5. P. 703-722.

Schulze E.D., Prokuschkin A., Arneth A., Knorre N., Vaganov E.A. Net ecosystem productivity and peat accumulation in a Siberian Aapa mire // *Tellus*. 2002. V. 54B. P. 531-536.

Segebaden G. Lodgepole pine in Sweden – A situation report // *Pinus contorta* from untamed forest to domesticated crop. Department of Forest Genetics and Plant Physiology. Swedish University of Agricultural Sciences. Report 11. 1993. P.8-23.

Selsted M.B., van der Linden L., Ibrom A., Michelsen A., Larsen K.S., Pedersen J.K., Mikkelsen, T.N., Pilegaard K., Beier C., Ambus P. Soil respiration is stimulated by elevated CO₂ and reduced by summer drought: three years of measurements in a multifactor ecosystem manipulation experiment in a temperate heathland (CLIMAITE) // *Global Change Biology*. 2012. Vol. 18. P. 1216-1230.

Shanin V.N., Komarov A.S., Khorashkina Yu.S., Bykhovets S.S., Linkosalo T., Мdkipdθ R. Carbon turnover in mixed stands: Modelling possible shifts under climate change. *Ecological Modelling* 251. 2013. P. 232-245.

Shanin V.N., Komarov A.S., Mikhailov A.V., Bykhovets S.S. Modelling carbon and nitrogen dynamics in forest ecosystems of Central Russia under different climate change scenarios and forest management regimes. *Ecol Model* 2011; 222: 2262-75.

Shannon, R.D., White J.R., Lawson, J.E. and Gilmour, B.S. CH₄ efflux from emergent vegetation in peatlands//*Journal of Ecology*. 1996. № 84. P. 239-246.

Shvidenko A., Venevsky S., Nilsson S. Increment and Mortality for Major Forest Species of Northern Eurasia with Variable Growing Stock // Wp-96-98, International Institute for Applied Systems Analysis. Laxenburg. Austria. 1998. 68 p.

Shugart H.H. A theory of forest dynamics. New York: Springer-Verlag. 1984. 278 p.

Shurpali N.J., Verma S.B., Kim J., Arkebauer T.J. Carbon dioxide exchange in a peatland ecosystem // *Journal of geophysical research*. 1995. Vol. 100. № D7. P. 14319-14326.

Soegaard H., Nordstroem C. Carbon dioxide exchange in a high-arctic fen estimated by eddy covariance measurements and modeling // *Global change biology*. 1999. № 5. P. 547-562.

Strengers B.J., Van Minnen J.G., Eickhout B. The role of carbon plantations in mitigating climate change: potentials and costs // *Climatic Change*. 2008. Vol. 88. № 3-4. P. 343-366.

Strömgren M., Linder S. Effects of nutrition and soil warming on stemwood production in a boreal Norway spruce stand. *Global Change Biology*. 2002. 8. P. 1195-1204.

Sundquist E.T. The global carbon dioxide budget // *Science*. 1993. Vol. 259. № 5097. P.934-941.

Sykes M.T., Prentice I.C., Crame, W.A bioclimatic model for the potential distributions of north European tree species under present and future climates. *Journal of Biogeography*. 1996. 23. P. 203-233.

Trumbore S. Age of soil organic matter and soil respiration: radiocarbon constraints on belowground C dynamics // *Ecol. Appl.* 2000. Vol. 10. № 2. P. 399-411.

van der Molen M.K., van Huissteden J.C., Parmentier F.J., Petrescu A.M.R., Dolman A.J., Maximov T.C., Kononov A.V., Karsanaev S.V., Suzdalov D.A. The growing season greenhouse gas balance of a continental tundra site in the Indigirka lowlands, NE Siberia // *Biogeosciences*. 2007. Vol. 4. № 6. P. 985-1003.

Varmola M., Salminen H., Rikala R., Kerkelä M. Survival and early development of lodgepole pine. *Scandinavian Journal of Forest Research*. 2000. Vol.15. P. 410-423.

Verkerk P.J.H., Eggers J., Lindner M., Korotkov V.N., Zudin S.L. Impact of wood demand and management regime on forest development and carbon stocks in Kostroma region. Proceedings of the international scientific conference on modern problems of sustainable forest management, inventory and monitoring of forests. St. Petersburg. 2006. P. 370-379.

Vetter M., Wirth C., Böttcher H., Churkina G., Schulze E.-D., Wutzler T., Weber G. Partitioning direct and indirect human-induced effects on carbon sequestration of managed coniferous forests using model simulations and forest inventories. *Global Change Biology*. 2005. 11. P. 810-827.

Vickers D., Mahrt L. Quality control and flux sampling problems for tower and aircraft data // *Journal of atmospheric and oceanic technology*. 1997. Vol. 14. P. 512-526.

Webb E.K., Pearman G.I., Leuning R. Correction of flux measurements for density effects due to heat and water vapour transfer // *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. 1980. Vol. 106. P. 85-100.

Whiting G.J., Chanton J.P. Plant-dependent CH₄ emission in a subarctic Canadian fen // *Global Biogeochemical Cycles*. 1992. Vol. 6. №. 3. P. 225-231.

Ying C. C. Performance of lodgepole pine provenances in southwestern British Columbia // *Silvae Genetica*. 1991. Vol.40. P. 215-233.

Yurova A.Yu., Volodin E.M., Egren G.I., Chertov O.G., Komarov A.S. Effects of variations in simulated changes in soil carbon contents and dynamics on future climate projections. *Global Change Biology*. 2009. P. 823-835.

Zamolodchikov D.G., Karelin D.V., Ivaschenko A.I., Oechel W.C., Hastings S.J. CO₂ flux measurements in Russian Far East tundra using eddy covariance and closed chamber techniques // *Tellus*. 2003. № 55B. P. 879-892.

№ п/п	Тип леса (координаты)	Состав древостоя (ярус, год перечета)	Вид	Возраст, лет	Число деревьев, экз. га ⁻¹		Сумма площадей сечений, м ² га ⁻¹		Запас древесины, м ³ га ⁻¹		Средние		Число живого подроста, шт. га ⁻¹
					Растущих	Сухих	Растущих	Сухих	Растущих	Сухих	Растущих	Сухих	
7	Сосняк черничный свежий (64°12,526' с.ш., 52°34,520' в.д.)	5С2Е2Лц1Б (2011)	С	140-200	Растущих	330	15,99	0,32	145,7	2,2	18	24	580
					Сухих	40	—	—	44,4	0,8	12	15	4531
			Лц	—	Растущих	40	5,55	—	64,4	—	24	42	—
					Сухих	—	—	—	—	—	—	—	—
			Б	—	Растущих	210	2,32	0,25	14,1	1,7	10	11	1320
					Сухих	—	—	—	—	—	—	—	—
8	Листоветочник бруснично-зеленомошный (64°10,646' с.ш., 52°45,772" в.д.)	7Лц3Е+Б (2011)	Лц	180-390	Растущих	830	29,42	0,73	268,6	4,7	33	44	6431
					Сухих	150	23,86	1,13	363,3	16,3	17	19	1400
			Е	70-145	Растущих	456	14,78	1,06	146,1	10,5	17	19	1400
					Сухих	31	—	—	—	—	—	—	—
			Б	80-100	Растущих	56	1,73	0	17,4	0	19	18	880
					Сухих	0	—	—	—	—	—	—	—
			Всего		Растущих	662	40,37	2,19	527	27	15	19	2280
					Сухих	44	—	—	—	—	—	—	—
9	Ельник черничный свежий (64°24,954' с.ш., 49°36,783' в.д.)	7Е2Б1Лц (2011)	Е	130-190	Растущих	628	20,3	1,63	176,4	15,8	22	35	80
					Сухих	20	3,68	1,49	38,9	23,2	18	23	—
			Б	200	Растущих	36	5,54	0,18	49,9	1,7	18	23	—
					Сухих	1	—	—	—	—	—	—	—
			Лц	200	Растущих	128	29,52	3,30	265,2	40,7	10	16	224
					Сухих	792	15,76	0,08	143,0	0,4	12	19	236
10	Ельник черничный влажный (64°28'130" с.ш., 50°06'185" в.д.)	7ЕЗБ (2011)	Б	110	Растущих	240	7,68	1,23	63,5	11,7	12	19	—
					Сухих	20	—	—	—	—	—	—	—
			Всего		Растущих	840	23,44	1,30	206,5	12,1	11	18	236
					Сухих	24	16,61	0,76	145,2	5,3	16	21	452
11	Ельник чернично-сфагновый (64°28'922" с.ш., 50°12,379" в.д.)	6Е4Б (2011)	Б	140-160	Растущих	272	9,58	0,31	78,5	1,6	16	21	—
					Сухих	20	—	—	—	—	—	—	—
			Всего		Растущих	804	27,19	1,07	223,7	6,9	12	14	452
					Сухих	44	26,11	2,09	205,4	17,6	10	9	2542
12	Ельник долгомошный (62°38,613' с.ш., 48°05,606' в.д.)	10Е+Б (2011)	Е	95-195 (375)	Растущих	1350	0,74	0,66	4,3	9,3	10	9	1190
					Сухих	75	—	—	—	—	—	—	—
			Всего		Растущих	113	26,85	2,75	209,7	26,9	12	15	3732
					Сухих	88	14,54	4,46	99,7	35,1	8	10	4800
13	Сосняк сфагновый (62°31,801' с.ш., 48°07,936' в.д.)	9С1Еед.Б (2011)	Е	180	Растущих	116	1,02	0,46	5,6	3,6	7	9	380
					Сухих	32	0,07	0	0,3	0	7	9	640
			Всего		Растущих	12	15,63	4,92	105,6	38,7	9	9	5820
					Сухих	808	—	—	—	—	—	—	—

№ п/п	Тип леса (координаты)	Состав древостоя (ярус, год перечета)	Вид	Возраст, лет	Число деревьев, экз. га ⁻¹		Сумма площадей сечений, м ² га ⁻¹		Запас древесины, м ³ га ⁻¹		Средние		Число живого подраста, шт. га ⁻¹
					Растущих	Сухих	Растущих	Сухих	Растущих	Сухих	Растущих	Сухих	
14	Сосняк кустарничково-зеленомошный (62°31'659" с.ш., 48°10,885" в.д.)	10С+Еед.Б (2011)	С	80-205	700	50	20	1.38	151.8	10.6	14	18	2069
				135-170	142	67	1.43	7.6	10.3	8	11	1285	
				95	67	8	0.35	0.03	1.5	0.1	8	8	851
				Всего	909	125	21.78	2.92	160.9	21			4205
15	Ельник зеленомошный (64°20'64" с.ш., 58°20'11" в.д.)	6Е4Бед.Пх (2010)	Е	100-180	650	25	15.54	0.20	151.9	1.5	18	16	1550
				85	167	8	9.41	0.26	101.4	2.5	22	27	707
				110	25	-	0.26	-	2.3	-	15	10	441
				Всего	842	33	25.21	0.46	255.6	4.0			2698
16	Ельник чернично-сфагновый	7Е3К+Б (2010)	Е	90-200	867	111	16.30	1.79	107.5	11.8	12	15	1822
				45-320	100	-	4.10	-	37.8	-	14	18	210
				50	200	-	3.68	-	6.1	-	12	15	745
				Пх	-	-	-	-	-	-	-	-	68
17	Ельник чернично-зеленомошный	9Е1Бед.К (2010)	Е	95-190	1167	111	24.08	1.79	151.4	11.8	13	16	2845
				80	689	33	17.65	0.37	146.0	2.2	13	16	1026
				40-60	178	-	3.08	-	21.9	-	12	14	1078
				Всего	889	33	20.92	0.37	168.9	2.2			2303
18	Ельник разнотравный	3Е3Пх4Бед.К (2010)	Ель	80-160	133	50	5.91	1.00	41.8	8.2	13	22	392
				70-170	267	450	5.22	4.93	32.7	27.8	11	14	2174
				65-80	175	17	6.96	0.54	46.3	3.5	13	22	515
				К	8	-	0.07	-	0.4	-	10	10	25
19	Лиственничник разнотравный	10Лц+Еед.Б (2010)	Лц	55-200	583	517	18.14	6.48	121.1	39.5	8	15	3106
				40	489	22	9.99	0.21	55.1	1.0	8	15	12
				Е	33	-	0.50	-	1.8	-	7	13	-
				Б	6	-	0.09	-	0.4	-	8	14	-
20	Лиственничник кустарничково-зеленомошный (64°5'1096" с.ш., 58°58'205" в.д.)	10Лц (2011)	Лц	40-90	528	22	10.53	0.21	57.3	1.0	6	17	12
				Всего	260	-	7.23	-	38.0	-	6	17	101

№ п/п	Тип леса (координаты)	Состав древостоя (ярус, год перечета)	Вид	Возраст, лет	Число деревьев, экз. га ⁻¹		Сумма площадей сечений, м ² га ⁻¹		Запас древесины, м ³ га ⁻¹		Средние		Число живого подроста, шт. га ⁻¹
					Растущих	Сухих	Растущих	Сухих	Растущих	Сухих	Растущих	Сухих	
21	Лиственничник чернично-злаково-зеленомошный (64°51'75" с.ш., 58°57'694" в.д.)	10Лц (2011)	Лц	70-120	583	13	13.00	0.06	60.1	0.2	6	16	619
22	Лиственничник разнотравный (64°51'714" с.ш., 58°8'70" в.д.)	10Лц (2011)	Лц	90-180	522	-	20.87	-	153.9	-	12	21	33
23	Лиственничник чернично-зеленомошный (65°15'315" с.ш., 59°38'359" в.д.)	10Лц+Пх (2011)	Лц	90-120	667	33	9.30	0.51	48.5	2.7	7	12	442
			Пх	-	33	0	0.50	0	2.5	0	7	12	33
24	Сосняк морозово-сфагновый (61°32'27" с.ш., 58°12'28" в.д.)	7С3Ед.Б.К (2011)	Всего С	60-370	700 548	33 120	9.80 12.9	0.51 2.5	51.0 83.4	2.7 14.8	- 16	- 10.5	475 720
			Е	90-280	302	62	3	0.6	31.2	5.7	11	9	800
			Б	Не опр.	74	4	0.6	0.02	1.6	0.03	10	6.1	2100
			К	60-100	28	-	0.1	-	1.2	-	7	7	520
			Всего		952	186	16.6	3.1	117.4	20.5	26	13.8	4140
25	Сосняк лишайниковый (61°46'49" с.ш., 57°02'11" в.д.)	10Сед.Б (2011)	Всего С Б Е	40-220	408 3	63	22.4 0.03	1.6	162.9 0.1	1.6	12 -	7	21340 80
			С	60-210	411	63	22.4	1.6	163.0	1.6	-	-	40
			Е	70-80	594	129	14.2	2.7	85.6	16.6	16	11.5	21460
			Б	Не опр.	263	20	2.4	0.1	12.6	0.5	10	8.7	1480
			К	60-200	137	-	1.5	-	6.7	-	11	8.6	1160
			Всего		1020	26	0.6	-	4.4	-	15	14.1	340
27	Сосняк черничный (61°56'21" с.ш., 57°54'49" в.д.)	10С (I) 7Е3Сед.Б (II) (2011)	Всего С Е Б К Всего	101-320	1020 473	149 120	18.7 24.7	2.8 9.9	109.3 262.2	17.1 113.9	25	21.6	3400
			С	101-160	80	-	1.1	-	7.3	-	12.8	12.6	40
			Е	70-110	160	-	2.6	-	15.7	-	14	10.4	1640
			Б	-	10	-	0.2	-	0.8	-	12	7.4	40
			К	-	-	-	-	-	-	-	-	-	200
			Всего		723	120	28.6	9.9	286	113.9	-	-	1920

* По И.Н. Кутявину (2013).

№ п/п	Тип леса (координаты)	Состав древостоя (ярус, год перечета)	Вид	Возраст, лет	Число деревьев, экз. га ⁻¹		Сумма площадей сечений, м ² га ⁻¹		Запас древесины, м ³ га ⁻¹		Средние		Число живого подроста, шт. га ⁻¹																																			
					Расту- щих	Сухих	Расту- щих	Сухих	Расту- щих	Сухих	Расту- щих	Сухих																																				
28	Сосняк брусничный (61°44'36" с.ш., 57°06'20" в.д.)	10С (2007)	С	160-340	170	60	21	-	210	20.8	20.8	40	3500																																			
														Расту- щих	Сухих	Расту- щих	Сухих	Расту- щих	Сухих																													
29	Сосняк лишайниково- зеленомошный каменистый (62°00'20" с.ш., 58°47'50" в.д.)	6С2Ос2К (I) (2008)	С	60-240	104	20	7.9	-	69.9	10.9	17.7	31	4410																																			
														Ос	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																								
																									К	0	2.1	-	17.9	0	17.7	26	140															
																																		Б	0	1.9	-	10.9	0	10.3	16	630						
Е	4	1.2	-	8.2	0.9	12.9	18	380																																								
30	Сосняк лишайниковый каменистый (62°00'20" с.ш., 58°47'50" в.д.)	6С4К (I) (2008)	С	80-380	88	4	5.4	-	127.6	18.6	11.8	28	1760																																			
														К	0	3.1	-	24	0	12.6	25	180																										
																							Б	-	-	-	-	-	-	-																		
																															Е	0	1.1	-	9.5	0	7.8	16	180									
																																								Ос	-	-	-	4.7	4.7	5.5	20	50
31	Сосняк черничный (61°57'07" с.ш., 57°57'23" в.д.)	10С (I) 5Е3С2Б (II) (2009)	С	330-400	120	28	24.6	-	92.3	12.2	23.4	50	860																																			
														С	80-160	85	0	2.4	-	21.1	0	17.5	18	120																								
32	Сосняк бруснично- лишайниковый (61°50'17" с.ш., 56°52'18" в.д.)	10С (2009)	С	180-220	456	28	32.9	-	367.3	38.6	16.2	28	2080																																			
														К	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	280																							
31	Сосняк бруснично- лишайниковый (61°50'17" с.ш., 56°52'18" в.д.)	10С (2009)	С	180-220	383	68	24.5	-	202.6	20.3	16.2	28	2080																																			
														К	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	280																							
32	Сосняк бруснично- лишайниковый (61°50'17" с.ш., 56°52'18" в.д.)	10С (2009)	С	180-220	456	28	32.9	-	367.3	38.6	16.2	28	2080																																			
														К	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	280																							
33	Сосняк бруснично- лишайниковый (61°50'17" с.ш., 56°52'18" в.д.)	10С (2009)	С	180-220	383	68	24.5	-	202.6	20.3	16.2	28	2080																																			
														К	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	280																							
34	Сосняк бруснично- лишайниковый (61°50'17" с.ш., 56°52'18" в.д.)	10С (2009)	С	180-220	456	28	32.9	-	367.3	38.6	16.2	28	2080																																			
														К	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	280																							
35	Сосняк бруснично- лишайниковый (61°50'17" с.ш., 56°52'18" в.д.)	10С (2009)	С	180-220	383	68	24.5	-	202.6	20.3	16.2	28	2080																																			
														К	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	280																							
36	Сосняк бруснично- лишайниковый (61°50'17" с.ш., 56°52'18" в.д.)	10С (2009)	С	180-220	456	28	32.9	-	367.3	38.6	16.2	28	2080																																			
														К	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	280																							
37	Сосняк бруснично- лишайниковый (61°50'17" с.ш., 56°52'18" в.д.)	10С (2009)	С	180-220	456	28	32.9	-	367.3	38.6	16.2	28	2080																																			
														К	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	280																							
38	Сосняк бруснично- лишайниковый (61°50'17" с.ш., 56°52'18" в.д.)	10С (2009)	С	180-220	456	28	32.9	-	367.3	38.6	16.2	28	2080																																			
														К	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	280																							
39	Сосняк бруснично- лишайниковый (61°50'17" с.ш., 56°52'18" в.д.)	10С (2009)	С	180-220	456	28	32.9	-	367.3	38.6	16.2	28	2080																																			
														К	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	280																							
40	Сосняк бруснично- лишайниковый (61°50'17" с.ш., 56°52'18" в.д.)	10С (2009)	С	180-220	456	28	32.9	-	367.3	38.6	16.2	28	2080																																			
														К	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	280																							
41	Сосняк бруснично- лишайниковый (61°50'17" с.ш., 56°52'18" в.д.)	10С (2009)	С	180-220	456	28	32.9	-	367.3	38.6	16.2	28	2080																																			
														К	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	280																							
42	Сосняк бруснично- лишайниковый (61°50'17" с.ш., 56°52'18" в.д.)	10С (2009)	С	180-220	456	28	32.9	-	367.3	38.6	16.2	28	2080																																			
														К	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	280																							
43	Сосняк бруснично- лишайниковый (61°50'17" с.ш., 56°52'18" в.д.)	10С (2009)	С	180-220	456	28	32.9	-	367.3	38.6	16.2	28	2080																																			
														К	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	280																							
44	Сосняк бруснично- лишайниковый (61°50'17" с.ш., 56°52'18" в.д.)	10С (2009)	С	180-220	456	28	32.9	-	367.3	38.6	16.2	28	2080																																			
														К	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	280																							
45	Сосняк бруснично- лишайниковый (61°50'17" с.ш., 56°52'18" в.д.)	10С (2009)	С	180-220	456	28	32.9	-	367.3	38.6	16.2	28	2080																																			
														К	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	280																							
46	Сосняк бруснично- лишайниковый (61°50'17" с.ш., 56°52'18" в.д.)	10С (2009)	С	180-220	456	28	32.9	-	367.3	38.6	16.2	28	2080																																			
														К	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	280																							
47	Сосняк бруснично- лишайниковый (61°50'17" с.ш., 56°52'18" в.д.)	10С (2009)	С	180-220	456	28	32.9	-	367.3	38.6	16.2	28	2080																																			
														К	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	280																							
48	Сосняк бруснично- лишайниковый (61°50'17" с.ш., 56°52'18" в.д.)	10С (2009)	С	180-220	456	28	32.9	-	367.3	38.6	16.2	28	2080																																			
														К	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	280																							
49	Сосняк бруснично- лишайниковый (61°50'17" с.ш., 56°52'18" в.д.)	10С (2009)	С	180-220	456	28	32.9	-	367.3	38.6	16.2	28	2080																																			
														К	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	280																							
50	Сосняк бруснично- лишайниковый (61°50'17" с.ш., 56°52'18" в.д.)	10С (2009)	С	180-220	456	28	32.9	-	367.3	38.6	16.2	28	2080																																			
														К	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	280																							
51	Сосняк бруснично- лишайниковый (61°50'17" с.ш., 56°52'18" в.д.)	10С (2009)	С	180-220	456	28	32.9	-	367.3	38.6	16.2	28	2080																																			
														К	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	280																							
52	Сосняк бруснично- лишайниковый (61°50'17" с.ш., 56°52'18" в.д.)	10С (2009)	С	180-220	456	28	32.9	-	367.3	38.6	16.2	28	2080																																			
														К	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	280																							
53	Сосняк бруснично- лишайниковый (61°50'17" с.ш., 56°52'18" в.д.)	10С (2009)	С	180-220	456	28	32.9	-	367.3	38.6	16.2	28	2080																																			
														К	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	280																							
54	Сосняк бруснично- лишайниковый (61°50'17" с.ш., 56°52'18" в.д.)	10С (2009)	С	180-220	456	28	32.9	-	367.3	38.6	16.2	28	2080																																			
														К	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	280																							
55	Сосняк бруснично- лишайниковый (61°50'17" с.ш., 56°52'18" в.д.)	10С (2009)	С	180-220	456	28	32.9	-	367.3	38.6	16.2	28	2080																																			
														К	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	280																							
56	Сосняк бруснично- лишайниковый (61°50'17" с.ш., 56°52'18" в.д.)	10С (2009)	С	180-220	456	28	32.9	-	367.3	38.6	16.2	28	2080																																			
														К	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	280																							
57	Сосняк бруснично- лишайниковый (61°50'17" с.ш., 56°52'18" в.д.)	10С (2009)	С	180-220	456	28	32.9	-	367.3	38.6	16.2	28	2080																																			
														К	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	280																							
58	Сосняк бруснично- лишайниковый (61°50'17" с.ш., 56°52'18" в.д.)	10С (2009)	С	180-220	456	28																																										

№ п/п	Тип леса (координаты)	Состав древостоя (ярус, год перечета)	Вид	Возраст, лет	Число деревьев, экз. га ⁻¹		Сумма площадей сечений, м ² га ⁻¹		Запас древесины, м ³ га ⁻¹		Средние		Число живого подроста, шт. га ⁻¹
					Растущих	Сухих	Растущих	Сухих	Растущих	Сухих	Растущих	Сухих	
33	Сосняк багульниковый (61°50'32" с.ш., 56°52'55" в.д.)	10С (I)	С	160-220	458	165	18	136.4	31.5	14	22	860	
		852К (II) (2009)	Б	-	15	0	0.17	0.9	0	11	12	260	
			К	50-60	3	0	0.03	0.2	0	9	12	540	
			Е	-	-	-	-	-	-	-	-	60	
		Всего	С	70-320	476	165	18.2	137.5	31.5	1720	18	2792	
34	Сосняк бруснично-лишайниковый (61°49'22" с.ш., 56°52'37" в.д.)	10С (2010)	Е	-	-	-	-	-	-	-	48		
			К	-	-	-	-	-	-	-	180		
		Всего	С	-	908	56	21.6	177.1	28.5	17.2	3020		
35	Сосняк чернично-зеленомошный (62°06'227" с.ш., 50°24'464" в.д.)	10Сед.Б (2010)	С	85±2	1579	275	37.0	0.17	358	17	16.3	25	
			Б	-	-	-	-	-	-	-	-	50	
			Е	-	-	-	-	-	-	-	-	125	
		Всего	С	54±2	1579	275	37.0	0.17	358	17	13.2	200	
			С	-	2275	88	15.7	0.04	159	3	11.6	1274	
36	Сосняк лишайниковый (62°04'047" с.ш., 50°24'401" в.д.)	10С (2010)	С	51±2	964	28	17.8	0.07	128	2	14	256	
			С	91±2	1588	488	33	0.23	294	23	17.1	15.5	4
			Б	-	-	-	-	-	-	-	-	20	
		Всего	С	-	1588	488	33	0.23	294	23	15.3	24	
			С	60-100	980	67	23.6	-	196	2.5	16.1	-	
37	Сосняк лишайниковый (62°01'750" с.ш., 50°21'401" в.д.)	10С (1998)	С	65-105	996	46	23.5	-	223	1.6	16.8	-	
			С	70-110	992	142	28.9	-	258	4.5	18.5	298	
			С	65-90	1530	78	26	-	206	2.9	16	14.7	
			С	70-95	1330	183	31.5	-	294	15.2	16.2	15.9	
		Всего	С	75-100	1490	208	33	-	296	7.4	17.2	17	
38	Сосняк бруснично-зеленомошный	10С (2009)	С	75-100	1490	208	33	-	296	7.4	17	2127	
			С	60-100	980	67	23.6	-	196	2.5	16.1	-	
			С	65-105	996	46	23.5	-	223	1.6	16.8	-	
			С	70-110	992	142	28.9	-	258	4.5	18.5	298	
			С	65-90	1530	78	26	-	206	2.9	16	14.7	
39	Сосняк лишайниковый (61°47'01" с.ш., 50°55'26" в.д.)	10С (1998)	С	60-100	980	67	23.6	-	196	2.5	16.1	-	
			С	65-105	996	46	23.5	-	223	1.6	16.8	-	
			С	70-110	992	142	28.9	-	258	4.5	18.5	298	
			С	65-90	1530	78	26	-	206	2.9	16	14.7	
		Всего	С	60-100	980	67	23.6	-	196	2.5	16.1	-	
40	Сосняк лишайниковый (61°46'44" с.ш., 50°54'41" в.д.)	10С (1998)	С	60-100	980	67	23.6	-	196	2.5	16.1	-	
			С	65-105	996	46	23.5	-	223	1.6	16.8	-	
			С	70-110	992	142	28.9	-	258	4.5	18.5	298	
			С	65-90	1530	78	26	-	206	2.9	16	14.7	
		Всего	С	60-100	980	67	23.6	-	196	2.5	16.1	-	

№ п/п	Тип леса (координаты)	Состав древостоя (ярус, год перечета)	Вид	Возраст, лет	Число деревьев, экз. га ⁻¹		Сумма площадей сечений, м ² га ⁻¹		Запас древесины, м ³ га ⁻¹		Средние		Число живого подроста, шт. га ⁻¹			
					Расту- щих	Сухих	Расту- щих	Сухих	Расту- щих	Сухих	Расту- щих	Сухих				
41	Сосняк черничный свежий (61°47'30" с.ш., 50°55'30" в.д.)	9С1БедЕ (1998)	С	75-90	Расту- щих	1120	220	26.3	—	263	18.6	20	17.3	—		
					Сухих	490	40	4	—	39	1.8	16.3	11.3	—		
					Всего	270	0	1.7	—	8	0	8.8	8.9	—		
		9С1БедЕ (2004)	С	80-95	Расту- щих	1880	260	32	—	310	20.4	336	52.6	19.7	18.3	—
					Сухих	1020	170	29.4	—	43	1	16.5	11.6	—		
					Всего	430	20	4.7	—	10	0	9.6	9.3	—		
		9С1Б+Е (2009)	С	85-100	Расту- щих	1700	190	35.9	—	390	53.8	350	12.5	22.2	19.9	—
					Сухих	1550	166	31.8	—	31	2.8	16.2	12.3	—		
					Всего	330	108	4.2	—	12	0	11.2	10.2	—		
		42	Сосняк бруснично- зеленомошный (61°46'27" с.ш., 50°56'00" в.д.)	9С1Б (1999)	С	65-90	Расту- щих	2130	274	38.3	—	393	15.3	19	16.4	—
Сухих	1480						78	31.2	—	23	1.0	12.8	12.3	—		
Всего	310						33	4.1	—	333	6.2	11.8	17.4	—		
8С2Б (2004)	С			70-95	Расту- щих	1790	110	35.3	—	360	11.8	32	1.1	13.5	13.0	—
					Сухих	1560	100	34.1	—	392	12.9	18.4	17.6	—		
					Всего	300	44	4.0	—	27	0	13.3	12.8	—		
9С1Б (2009)	С			75-100	Расту- щих	1440	188	31.6	—	—	—	—	—	—	—	—
					Сухих	320	0	3.5	—	—	—	—	—	—	—	—
					Всего	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
43	Ельник черничный влажный (62°17' с.ш., 50°40' в.д.)			7Е2Б1С+Ос, ед Пх (2006)	Е	80-180	Расту- щих	1560	188	35.1	—	380	7.0	17	19	6665
		Сухих	731				12	20.6	0.2	216.9	1.4	22.5	18	415		
		Всего	188				6	4.8	0.1	57.2	0.4	17	31	—		
		Расту- щих	25				6	2.0	0.3	21.2	4.1	9	11	161		
		Сухих	13				0	0.1	0	0.6	0	24	27	—		
		Всего	13				0	0.7	0	7.2	0	—	—	—		
		Всего	970				24	28.2	0.6	303.1	8.3	—	—	—		

№ п/п	Тип леса (координаты)	Состав древостоя (ярус, год перечета)	Вид	Возраст, лет	Число деревьев, экз. га ⁻¹		Сумма площадей сечений, м ² га ⁻¹		Запас древесины, м ³ га ⁻¹		Средние		Число живого подроста, шт. га ⁻¹
					Расту- щих	Сухих	Расту- щих	Сухих	Расту- щих	Сухих	Расту- щих	Сухих	
44	Ельник чернично-сфагновый (62°17' с.ш., 50°40' в.д.)	9Е1Б*СедПх (2002)	Е	106-200	595	85	2.0	-	177	3.4	16	20	4535
					15	-	1.0	-	8.0	-	20	32	2035
					5	10	1.1	-	8.0	8.4	22	40	-
					10	-	0.1	-	1.0	-	10	10	60
					-	-	-	-	-	-	-	-	20
45	Ельник разнотравно-черничный (62°17' с.ш., 50°40' в.д.)	8Е1Б1ПхедС (2006)	Е	70-200	625	95	24.2	0.8	194	16.7	20	22	6650
					633	26	24.1	0	260	7.7	20	22	7350
					60	0	4	0	31	0	17	27	521
					7	0	1.0	0	16	0	27.9	50	-
					213	0	4.0	0	29	0	13.2	14.5	2206
			Всего		913	26	33.1	0.8	336	7.7		10077	

Жизненная форма, вид	№ пробной площади														
	1	3	6	9	10	11	12	15	16	17	18	43	44	45	
<i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth.	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	+	1	2
<i>Carex</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	+	2	2	-	4	-	-	-
<i>Carex globularis</i> L.	6	-	+	-	-	5	3	-	-	-	2	+	1	-	-
<i>Carex cinerea</i> Poll.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
<i>Chamaenerion angustifolium</i> (L.) Scop	-	5	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Chamaenerion latifolium</i> (L.) Th. Fries et Lange	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1	-	-	-
<i>Chamaeperilymenum suecicum</i> (L.) Ascher.&Graebn.	-	4	-	-	1	5	-	-	-	-	-	2	-	-	-
<i>Cirsium heterophyllum</i> (L.) Hill	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-
<i>Deschampsia caespitosa</i> (L.) Beauv.	-	-	2	-	-	-	-	2	-	2	-	-	1	+	-
<i>Diphasiastrum complanatum</i> (L.) Holub	-	-	-	1	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-
<i>Dryopteris carthusiana</i> (Vill) H.P. Fuchs	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Dryopteris filix-mas</i> (L.) Schott	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	+
<i>Dryopteris</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-
<i>Equisetum pratense</i> Ehrh.	2	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>E. sylvaticum</i> L.	-	-	+	-	1	1	2	2	2	2	-	2	1	3	-
<i>Fragaria vesca</i> L.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
<i>Galeopsis</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	1	-	-	-
<i>Galium palustre</i> L.	2	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Geranium sylvaticum</i> L.	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	+
<i>Gymnocarpium dryopteris</i> (L.) Newm.	-	-	-	-	2	2	-	-	3	-	2	2	-	-	-
<i>Gymnocarpium</i> Linnea (L.) Newm.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	2
<i>Listera cordata</i> (L.) R.Br.	-	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Luzula pilosa</i> (L.) Willd.	-	1	+	-	2	1	-	-	-	-	-	-	+	2	1
<i>Lycopodium annotinum</i> L.	-	-	-	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
<i>L. clavatum</i> L.	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Maianthemum bifolium</i> (L.) F.W.Schmidt	-	-	-	1	-	-	-	2	+	-	-	-	1	4	1
<i>Melampyrum pratense</i> L.	-	-	-	+	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1	-
<i>M. sylvaticum</i> L.	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1	2	-
<i>Melica nutans</i> L.	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Orthilia secunda</i> (L.) House	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Oxalis acetosella</i> L.	-	-	-	-	2	-	-	2	-	+	-	3	3	3	3
<i>Poa</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	2	-	-	-	+

Видовой состав и обилие растений и лишайников в сосновых фитоценозах ООПТ

Жизненная форма, вид	№ пробной площади																									
	2	4	5	7	13	14	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	
Деревья																										
<i>Juniperus communis</i> L.	2	-	-	+	-	-	-	-	1	-	-	1	1	-	-	1	-	1	1	-	-	-	-	-	1	-
<i>Larix sibirica</i> Ledeb.	1	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Picea obovata</i> Ledeb.	1	+	+	2	1	1	2	2	1	-	-	1	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1
<i>Betula nana</i> L.	-	-	2	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Betula pubescens</i> Ehrh	1	+	+	1	1	1	1	1	1	-	-	1	1	2	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	1	1
<i>Pinus sibirica</i> Du Tour	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	1	2	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Pinus sylvestris</i> L.	5	6	6	3	4	5	5	5	5	5	4	4	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
<i>Populus tremula</i> L.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Salix</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Sorbus aucuparia</i> L.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	1	2	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	1	1
Кустарнички																										
<i>Andromeda polifolia</i> L.	-	-	6	-	1	-	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Calluna vulgaris</i> L.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	2	1	2	1	1	1
<i>Chamaedaphne calyculata</i> (L.) Moench	-	-	-	-	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Empetrum nigrum</i> L.	3	+	3	2	2	-	-	-	1	-	2	-	-	1	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Ledum palustre</i> L.	2	-	6	-	2	1	3	2	-	-	-	-	-	1	-	5	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Linnea borealis</i> L.	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Oxycoccus palustris</i> Pers.	-	-	-	-	1	-	2	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Rosa acicularis</i> Lundl.	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Rubus chamaemorus</i> L.	-	-	4	-	-	-	5	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Vaccinium myrtillus</i> L.	5	-	6	3	5	5	2	5	4	-	-	2	2	2	-	-	3	3	-	-	2	1	-	5	4	
<i>V. vitis-idaea</i> L.	4	4	2	2	2	-	1	1	2	2	5	2	2	5	5	1	5	3	3	3	4	2	3	4	5	
<i>V. uliginosum</i> L.	4	+	5	3	5	5	1	1	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	2	-	-	1	-	
Травы																										
<i>Antennaria dioica</i> (L.) Gaertn.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-

Жизненная форма, вид	№ пробной площади																								
	2	4	5	7	13	14	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
<i>Dicranum polysetum</i> (Mich.) Sw.	4	+	-	-	1	2	1	1	3	1	2	4	2	6	2	3	2	2	2	-	4	2	1	2	4
<i>Hypocnium splendens</i> (Hedw.) Br., Sch et Cmb	5	1	-	4	1	2	1	1	4	-	-	-	-	5	-	3	-	4	-	-	1	1	-	-	-
<i>Mnium rugicum</i> Laur.	-	-	-	-	-	-	1	-	3	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Pleurozium schreberi</i> (Brid.) Mitt.	4	3	2	2	3	5	1	1	4	1	2	4	2	6	2	-	5	2	3	1	5	4	2	5	5
<i>Polytrichum commune</i> Hedw.	2	-	2	+	-	-	1	1	-	1	2	-	-	2	-	1	1	1	-	1	1	-	-	1	1
<i>P. juniperinum</i> Hedw.	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-
<i>Polytrichum strictum</i>	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Ptilium crista-castrensis</i> (Hedw.) De Not	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1
<i>Sphagnum</i> sp	-	-	6	-	3	3	5	5	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Лишайники																									1
<i>Cetraria islandica</i> (L.) Ach.	-	-	-	-	-	-	-	-	1	2	-	-	-	-	4	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cladonia rangiferina</i> (L.) Nyl.	2	3	2	1	2	1	-	-	2	5	3	3	6	1	4	-	5	-	1	5	-	4	4	1	1
<i>C. stellaris</i> (Opiz) Brodo	-	-	-	-	1	1	-	-	1	5	3	3	6	-	4	-	6	-	-	-	-	1	1	-	-
<i>Cladonia deformis</i> (L.) Hoffm.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	1	-	-	3	-	1	1	-	-
<i>C. cervicomis</i> (Ach.) Flat.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-
<i>C. slevatica</i>	3	+	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>C. arbuscula</i> (Wallr.) Hale & W.L.Gulb.	-	+	2	1	1	-	-	-	2	5	3	3	6	1	4	-	5	-	3	-	-	4	4	-	1
<i>Cladonia coccifera</i> (L.) Willd.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cladonia furcata</i> (Huds.) Schrad.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Peltigera aphthosa</i> (L.) Willd	-	-	-	-	+	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-

Видовой состав и обилие растений и лишайников в лиственничных фитоценозах ООПТ

Жизненная форма, вид	№ пробной площади					
	8	19	20	21	22	23
Деревья						
<i>Abies sibirica</i> L.	–	–	–	–	–	1
<i>Pinus sylvestris</i> L.	–	–	–	–	–	–
<i>Picea obovata</i> Ledeb.	3	1	–	–	–	–
<i>Betula pubescens</i> Ehrh	+	+	–	+	–	–
<i>Larix sibirica</i> Ledeb.	4	5	5	5	5	5
Подлесок						
<i>Betula nana</i> L.	–	–	3	+	1	1
<i>Juniperus communis</i> L.	+	–	–	+	–	–
<i>Rosa acicularis</i> Lundl.	+	–	–	–	–	–
<i>Salix</i> sp.	–	–	+	–	–	–
<i>Sorbus</i> sp	–	–	–	+	+	+
<i>Lonicera pallasii</i> Ledeb.	+	–	–	–	–	–
Кустарнички						
<i>Atragene sibirica</i> L.	+	–	–	–	–	–
<i>Empetrum hermaphroditum</i> (Lange) Hagerup	–	+	1	+	–	2
<i>Linnaea borealis</i> L.	2	–	–	–	–	–
<i>Vaccinium myrtillus</i> L.	2	3	2	2	2	3
<i>V. uliginosum</i> L.	+	2	2	2	–	+
<i>V. vitis-idaea</i> L.	3	1	1	–	–	–
Травы						
<i>Aconitum exelsum</i> Rchb.	+	–	–	–	3	–
<i>Alchemilla</i> sp.	–	–	–	–	1	–
<i>Alopecurus pratensis</i> L.	–	–	–	–	1	–
<i>Angelica sylvestris</i> L.	–	–	–	–	2	–
<i>Anthoxanthum odoratum</i> L.	–	–	+	1	1	–
<i>Avenella flexuosa</i> (L.) Drey.	–	3	2	3	3	2
<i>Bistorta major</i> S.F.Gray	–	1	1	1	2	+
<i>Calamagrostis purpurea</i> (Trin.)	–	–	–	–	2	–
<i>Carex brunnescens</i> (Pers.) Poir	–	+	+	+	+	+
<i>Carex cinerea</i> Poll.	–	2	–	–	–	–
<i>Carex globularis</i> L.	+	+	–	–	–	–
<i>Centaurea</i> sp.	–	–	+	–	2	–
<i>Chamenerion angustifolium</i> (L.) Scop	+	–	1	–	1	–
<i>Cirsium heterophyllum</i> (L.) Hill.	+	–	–	–	–	–
<i>Geranium sylvaticum</i> L.	1	–	–	–	2	–
<i>Galium boreale</i> L.	+	–	–	–	–	–
<i>Gymnocarpium dryopteris</i> (L.) Newm.	2	–	–	–	–	–
<i>Deschampsia caespitosa</i> (L.) Beauv.	+	–	–	–	–	–
<i>Diphasiastrum alpinum</i> (L.) Holub	–	–	1	+	–	–
<i>Equisetum arvense</i> L.	–	–	–	–	1	–
<i>Hieracium alpinum</i> L.	–	–	+	+	–	+
<i>Lathyrus vernus</i> (L.) Bernh.	+	–	–	–	–	–
<i>Linnaea borealis</i> L.	–	–	–	–	2	–
<i>Luzula frigida</i> (Buchenau) Sam.	–	–	+	–	–	–

Жизненная форма, вид	№ пробной площади					
	8	19	20	21	22	23
<i>Luzula pilosa</i> (L.) Willd.	+	-	-	-	-	-
<i>Lycopodium annotinum</i> L.	+	-	-	-	-	-
<i>Maianthemum bifolium</i> (L.) F.W.Schmidt	+	-	-	-	-	-
<i>Melampyrum pratense</i> L.	+	-	-	-	-	-
<i>Milium effusum</i> L.	+	-	-	-	-	-
<i>Myosotis</i> sp.	-	-	-	-	-	1
<i>Omalotheca norvegicum</i> Gunn.	-	-	-	-	+	-
<i>Oxalis acetosella</i> L.	+	-	-	-	-	-
<i>Sanguisorba officinalis</i> L.	+	-	-	-	1	-
<i>Solidago virgaurea</i> L.	+	1	+	+	1	+
<i>Pachypleurum alpinum</i> Ledeb.	-	-	-	-	+	-
<i>Pedicularis</i> sp.	-	-	-	-	1	-
<i>Poa</i> sp.	-	+	-	-	-	-
<i>Pyrola rotundifolia</i> L.	+	-	-	-	-	-
<i>Rubus saxatilis</i> L.	+	-	-	-	1	-
<i>Rhodiola rosea</i> L.	-	-	-	-	1	-
<i>Rubus arcticus</i> L.	+	-	+	-	-	-
<i>Rumex acetosella</i> L.	-	-	-	-	2	-
<i>Thalictrum minus</i> L.	+	-	-	-	3	-
<i>Trientalis europeae</i> L.	+	2	1	1	+	1
<i>Trollius europaeus</i> L.	-	-	-	-	+	-
<i>Veratrum lobelianum</i> Bernh.	-	-	1	-	1	+
<i>Vicia sylvatica</i> L.	+	-	-	-	-	-
<i>Viola biflora</i> L.	-	-	-	-	1	-
Мхи						
<i>Dicranum</i> sp.	+	3	2	3	2	3
<i>Hylocomium splendens</i> (Hedw.) Br., Sch et Cmb	3	-	-	-	-	-
<i>Pleurozium schreberi</i> (Brid.) Mitt.	+	3	3	2	2	2
<i>Polytrichum commune</i> Hedw.	3	2	2	3	2	2
<i>P. juniperinum</i> Hedw.	+	-	-	-	-	-
<i>P. strictum</i> Brid.	-	-	1	-	-	-
<i>Ptilium crista-castrensis</i> (Hedw.) De Not	3	-	-	-	-	-
Печеночные мхи sp.	-	2	3	2	1	3
Лишайники						
<i>Cetraria islandica</i>	-	-	2	-	-	-
<i>Cladina arbuscula</i> (Wallr.) Hale & W.L. Gulb.	+	-	2	-	-	-
<i>C. rangiferina</i> (L.) Nyl.	+	-	2	-	-	-
<i>C. stellaris</i> (Opiz) Brodo	+	-	-	-	-	-
<i>Flavocetraria nivalis</i> (L.) Karnefelt & Thell	-	-	3	-	-	-
<i>Peltigera</i> sp.	+	-	1	-	-	-
<i>Stereocaulon</i> sp.	-	-	2	-	-	-

Адрес офиса проекта ПРООН/ГЭФ: 167982 г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 26,
оф. 321.
Тел.: (8212) 21-60-38
E-mail: tentyukova@undp-komi.org
www.undp-komi.org

Научное издание

Коллектив авторов

УГЛЕРОД В ЛЕСНЫХ И БОЛОТНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ
ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ РЕСПУБЛИКИ КОМИ

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

Редактор О.А. Гросу
Оригинал-макет Е.А. Волкова

Фото на обложке – С.В. Загирова

Лицензия № 0047 от 10.01.99.

Подписано в печать 29.07.2014. Формат 60х90^{1/8}. Бумага офсетная.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 25.25 + вклейка 2.0. Уч.-изд. л. 25.0.
Тираж 300 экз. Заказ

Отпечатано с готового оригинал-макета заказчика
в полном соответствии с предоставленными материалами
в ООО «Кировская областная типография».

610004, г. Киров, ул. Ленина, д. 2.



Сосняк лишайниково-зеленомошный каменистый в Печоро-Илычском государственном биосферном заповеднике (фото И.Н. Кутявина).



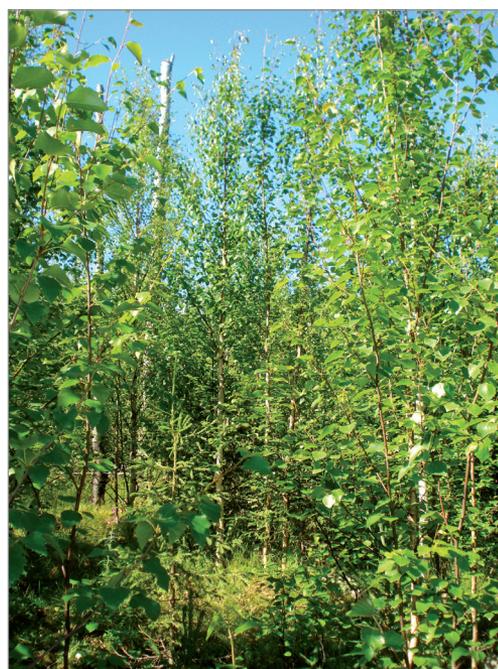
Ельник зеленомошный в национальном парке «Югыд ва» (фото М.А. Кузнецова).



Лиственничник кустарничко-зеленомошный в национальном парке «Югд ва»
(Фото А.И. Патова).



Ельник осоково-сфагновый
в заказнике «Сэбысь» (фото М.А. Кузнецова).



Березняк разнотравный, возникший после
верхового пожара в заказнике «Сэбысь»
(фото М.А. Кузнецова).



Сосняк багульниковый, заказник «Гажаягский» (фото М.А. Кузнецова).



Сосняк черничный свежий, заказник «Белая Кедва» (фото М.А. Кузнецова).



Кедр сибирский, кедровый заказник «Сусьель-Локчимский» (фото А.В. Манова).



Ельник чернично-сфагновый, заказник «Пяльский»
(фото М.А. Кузнецова).



Ельник разнотравно-черничный, заказник «Пяльский»
(фото М.А. Кузнецова).



Сосняк лишайниковый, заказник «Белый» (фото Н.В. Торлоповой).



Зарастание лиственными после пожара в сосняке (фото Н.В. Торлоповой).



Обгорание стволов сосны и мертвый покров после устойчивого низового пожара, заказник «Белый» (фото Н.В. Торлоповой).



Беглый низовый пожар текущего года: сгоревший напочвенный покров и выгоревший валеж, Печоро-Илычский государственный биосферный заповедник (фото Н.В. Торлоповой).



Беглый низовой пожар: обугливание мхов, обгорание кустарничков и подроста сосны, Печоро-Илычский государственный биосферный заповедник (фото Н.В. Торлоповой).



Обожженный конвекционными потоками подрост после низового пожара, Печоро-Илычский государственный биосферный заповедник (фото Н.В. Торлоповой).



Десять лет после устойчивого низового пожара высокой интенсивности, Печоро-Илычский государственный биосферный заповедник (фото Н.В. Торлоповой).



Повреждение сосны скрученной низкими температурами в конце зимы—начале весны 2010 г.
(1 – Нарлинге, 2 – Оппала, 3 – Скорсерум, 4 – Ларслунд, 5 – Румхулт, 6 – Остерби)
(фото А.Л. Федоркова).



Экспериментальная плантация сосны скрученной в Ухтинском лесничестве, заложённая на выработанном карьере (снимок 2011 г.) (фото А.Л. Федоркова).



Экспериментальная плантация сосны скрученной в Сторожевском лесничестве, заложённая на бывших сельскохозяйственных землях (снимок 2011 г.) (фото А.Л. Федоркова).



Экспериментальная плантация сосны скрученной в Койгородском лесничестве, заложённая на выработанном карьере (снимок 2011 г.) (фото А.Л. Федоркова).



Грядово-мочажинный комплекс на болоте (фото Н.Н. Гончаровой).



Сосново-кустарничково-сфагновая гряда (фото Н.Н. Гончаровой).



Шейхцерево-сфагновая мочажина (фото Н.Н. Гончаровой).



Мочажина из *Sphagnum balticum* (фото Н.Н. Гончаровой).



Сообщество *Carex lasiocarpa* (фото Н.Н. Гончаровой).



Мезоевтрофный древесно-осоково-сфагновый фитоценоз (фото Н.Н. Гончаровой).



Древесно-кустарничково-травяно-сфагновое сообщество (фото Н.Н. Гончаровой).



Кочковато-топяная кустарничково-пушицево-сфагновая окрайка (фото Н.Н. Гончаровой).



Кочковатая кустарничково-пушицево-сфагновая окрайка (фото Н.Н. Гончаровой).



Верховое болото осенью. Общий вид (фото Н.Н. Гончаровой).



Северные болота богаты клюквой (фото Н.Н. Гончаровой).