

На правах рукописи



Осипов Андрей Федорович

**ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ
ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА
В ЗАБОЛОЧЕННЫХ СОСНЯКАХ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ**

03.02.08 – Экология

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Сыктывкар 2011

Работа выполнена в отделе лесобиологических проблем Севера Учреждения Российской академии наук Институте биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН

Научный руководитель: доктор биологических наук, профессор
Бобкова Капитолина Степановна

Официальные оппоненты: доктор биологических наук, профессор
Комаров Александр Сергеевич

доктор сельскохозяйственных наук,
профессор
Безносиков Василий Александрович

Ведущая организация: Центр по проблемам экологии
и продуктивности лесов РАН

Защита состоится 30 марта 2011 г. в 15.00 часов на заседании диссертационного совета Д 004.007.01 в Учреждении Российской академии наук Институте биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН по адресу: 167982, г. Сыктывкар, ГСП-2, ул. Коммунистическая, 28.

Факс: 8(8212) 24-01-63

E-mail: dissovet@ib.komisc.ru

Сайт института: <http://www.ib.komisc.ru>

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Коми научного центра Уральского отделения РАН по адресу: 167982, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 24.

Автореферат разослан « ____ » _____ 2011 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор биологических наук



А.Г. Кудяшева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В глобальном круговороте веществ лесам принадлежит первостепенная роль в поддержании баланса CO_2 и функционировании современной биосферы (Исаев и др., 1995; Круговорот углерода..., 1999). Бореальные леса концентрируют 40% органического углерода суши, а 2/3 этого пояса занимают протянувшаяся в широтном направлении территория России (Пулы и потоки..., 2007). Фитоценозы бореальной зоны с их замедленным биологическим круговоротом веществ способны усваивать и длительное время хранить CO_2 атмосферы (Базилевич, 1993; Лесные экосистемы..., 2002; Усольцев, Залесов, 2005 и др.). Следовательно, они выполняют важную роль в углеродном балансе планеты.

Сосновые леса на территории Республики Коми занимают 7.1 млн. га, половина из которых приходится на заболоченные типы сообществ (Леса..., 1999). Изучению отдельных аспектов углеродного цикла лесных экосистем данного региона посвящены работы Л.Н. Фроловой (1961), Н.Л. Смоленцевой (1979), И.Б. Арчеговой (1985), К.С. Бобковой (2001; 2005), В.В. Тужилкиной (1993), В.В. Тужилкиной с соавторами (1998), С.В. Загировой (1999), А.В. Машики (2005). Эти исследования затрагивают большей частью еловые, реже сосновые фитоценозы, развитые на автоморфных почвах. Цикл углерода в сосновых экосистемах на болотно-подзолистых почвах не исследован.

Цель исследования. Оценка резервуаров и потоков углерода органического вещества фитоценозов и почвы в среднетаежных сосняках чернично-сфагновых разного возраста.

Задачи исследования:

1. Определить биологическую продуктивность фитоценозов среднетаежных чернично-сфагновых сосняков разного возраста.
2. Оценить пул органического углерода в фитоценозах и почве сосняков, развитых на болотно-подзолистых почвах.
3. Исследовать потоки почвенного углерода, включающие его поступление с лесным опадом, разложение растительных остатков и закрепление органического углерода в почве.
4. Изучить суточную и сезонную динамику эмиссии диоксида углерода с поверхности почвы в зависимости от температуры и влажности.
5. Определить бюджет углерода в спелом сосняке чернично-сфагновом.

Научная новизна. Впервые на европейском Северо-Востоке определена возрастная динамика биологической продуктивности сосняка чернично-сфагнового. Дана количественная оценка основных звеньев круговорота углерода в системе фитоценоз–почва–атмосфера в экосистемах заболоченных сосняков. Выявлена роль отдельных компонентов фитоценоза в биологическом круговороте углерода. Показано, что в сосняках на переувлажненных почвах в формировании нетто-продукции (NPP) и годичного входного потока углерода в почву наряду с древесными значительный вклад вносят растения напочвенного покрова. Сезонная динамика выделения углекислого газа из почвы определяется гидротермическими условиями воздушной и почвенной среды. Установлено, что в годичном круговороте углерода среднетаежный спелый

сосняк чернично-сфагновый является резервуаром для стока углерода. Чистая экосистемная продукция (NEP) составляет 0.58 т С га⁻¹.

Практическая значимость работы. Результаты исследований могут быть использованы для количественного определения секвестирования углерода атмосферы сосняками европейского северо-востока России, а также при мониторинге и моделировании углеродного бюджета основных сообществ в ответ на изменение экологических условий. Полученные данные найдут применение как региональные при оценке участия заболоченных основных фитоценозов в балансе углерода среднетаежных лесов. Приведенные регрессионные зависимости содержания органического вещества в отдельных компонентах дерева от его диаметра позволяют определить фитомассу и ее продукцию для древостоев сосняков, развитых на болотно-подзолистых почвах, на основе перечетных данных древостоев. Результаты проведенных исследований могут быть использованы в курсах преподавания учебных дисциплин «Экология», «Почвоведение» и «Лесоведение» в ВУЗах лесного профиля.

Апробация работы. Материалы диссертации докладывались на XV и XVI, XVII Всероссийских Молодежных научных конференциях Института биологии Коми НЦ УрО РАН «Актуальные проблемы биологии и экологии» (Сыктывкар, 2008, 2009, 2010); Всероссийской конференции «Проблемы региональной экологии в условиях устойчивого развития» (Киров, 2008); Всероссийской конференции XII Докучаевские молодежные чтения «Почвы и продовольственная безопасность России» (Санкт-Петербург, 2009); III Международной конференции по лесному почвоведению «Продуктивность и устойчивость лесных почв» (Петрозаводск, 2009), III Всероссийской конференции с международным участием «Экологические проблемы северных регионов и пути их решения» (Апатиты, 2010).

Публикации. Основные положения диссертационной работы опубликованы в девяти работах, в числе которых одна статья в издании, рекомендованном ВАК Министерства науки и образования Российской Федерации.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 6 глав основного текста, иллюстраций, заключения, выводов, списка цитируемой литературы, включающего 228 наименований, в том числе 49 иностранных. Объем излагаемой работы составляет 146 страниц, включая 26 таблиц, 24 рисунка.

Организация исследований. Работа выполнялась с 2007 по 2010 г. как раздел госбюджетной темы «Зональные закономерности динамики фитоценозов, обмена вещества и энергии в лесных экосистемах европейского Северо-Востока (№ Гр. 0120.0603504), выполняемой отделом лесобиологических проблем Севера Института биологии Коми научного центра УрО РАН, при поддержке грантов: РФФИ (гранты № 07-04-00104-а и №10-04-00067-а), Программы фундаментальных исследований Президиума РАН № 16 «Углеродный цикл в лесных экосистемах европейского Северо-Востока в меняющихся условиях природной среды и климата (на примере Республики Коми)» и международной программы ЕС «CARBO-NORTH» (контракт ЕС 036993) раздел: «Динамика лесов».

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Углеродный цикл в сосняках. Состояние проблемы

Рассмотрены зональные и экотопические закономерности накопления органической массы в сосновых фитоценозах (Молчанов, 1971; Медведева, 1974; Казимиров и др., 1977; Семечкина, 1978; Никонов, Цветков, 1984; Бобкова, 1987; Лукина, Никонов, 1996; Усольцев, 2001, 2007; Бузыкин и др., 2002; Kollari et al., 2004 и др.). Депонированию углерода в лесных насаждениях разных стран, крупных регионов, отдельных фитоценозов посвящено достаточное количество работ (Алексеев, Бердси, 1994; Исаев, Коровин, 1997, 1999; Shepashenko et al., 1998; Курбанов, 2002; Уткин и др., 2004; Бобкова, 2005; Уткин и др., 2006; Синькевич и др., 2009 и др.). Появляются работы по запасам углерода в древесном дебрисе (Биопродукционный процесс..., 2001; Курбанов, Кранкина, 2001; Замолотчиков, 2009; Трефилова и др., 2009). Среди основных планетарных резервуаров углерод почвенного органического вещества ($C_{\text{орг}}$) занимает третью по значимости позицию после углерода литосферы и мирового океана (Антропогенные изменения..., 1987; Смагин, 1999). Оценка запасов углерода в лесных почвах отражены в публикациях (Eriksson, 1991; Birdsey, 1992; Burschel et al., 1993; Орлов, Бирюкова, 1995; Рожков и др., 1997; Титлянова и др., 1999; Честных и др., 1999; Честных и др., 2004; Olsson, 2009 и др.). Потоки углерода, такие как поступление и разложение растительных остатков, формирование лесной подстилки в сосняках, освещены в работах (Никонов, 1987; Богатырев, 1990; Прокушкин, Каверзина, 1992; Эколого-физиологические..., 1993; Ведрова, 1997; Германова, 2000). Эмиссия углекислого газа из почвы в зависимости от экологических факторов рассмотрена в работах (Смирнов, 1955; Мина, 1957; Swift et al., 1979; Кобак, 1988; Кайбияйнен и др., 1999; Кудеяров, 1999; Молчанов, 2007 и др.). Анализ литературы показал, что углеродный цикл в сосняках бореальной зоны изучается давно. Однако исследованиями в основном охвачены отдельные компоненты этого процесса. Мало сведений, характеризующих бюджет углерода на уровне экосистем. Существуют разночтения в определении запасов углерода, его потоков в системе фитоценоз-почва. Исследования эмиссии CO_2 из почвы сосняков фрагментарны, выполнены разными методами и результаты трудно сопоставимы. Это вызывает необходимость проведения новых региональных исследований в таежной зоне.

Глава 2. Природно-климатические условия района исследования.

Объекты и методы

Исследования проводили в подзоне средней тайги на базе Ляльского (62°17' с.ш. и 50°40' в.д.) и Чернамского (62°00' с.ш., 50°20' в.д.) лесных стационаров Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Приводится общая характеристика природных и погодных условий районов исследования.

Объектами исследования явились сосняки чернично-сфагновые IV и V классов бонитета (табл. 1). В травяно-кустарничковом ярусе преобладает черника, брусника, голубика, водяника, кассандра, багульник, осока

Таблица 1

Таксационная характеристика древостоев чернично-сфагновых сосняков

Возраст, лет (№ ППП)	Состав древостоя	Плотность, экз.·га ⁻¹	Запас древесины, м ³ ·га ⁻¹	Средний диаметр, см	Средняя высота, м
45 (40)	9С1Б+Е	2153	95	9.3	8.8
60 (4)*	10С+Б ед.Е	2040	109	10.0	10.0
80 (4)	10С ед.Е	2266	139	12.0	11.0
118 (26)	10С+Е,Б,Ос	1210	197	16.3	12.9

* Здесь и в табл. 3 – по К.С. Бобковой (1987).

шаровидная. Моховой покров представлен сфагновыми мхами, при участии зеленых. Встречаются лишайники из рода *Cladonia*.

Согласно ОСТ 56-69-83 заложены постоянные пробные площади (ППП) размером 0.1-0.2 га, на которых проведен сплошной перебор деревьев. Таксационная обработка материала выполнена по Лесотаксационному справочнику (1986). Запасы и прирост органической массы древостоев определяли методом модельных деревьев (Уткин, 1975). Проанализировано 15 деревьев сосны разных ступеней толщины. Массу корней изучали методом крупных и мелких монолитов (Орлов, 1967), а их прирост по (Методы изучения..., 2002). Продукцию стволовой древесины оценивали по ее текущему приросту на модельных деревьях при помощи LINTAB 5 с использованием программы Tsar Win Basic. Масса деревьев ели и березы вычислена по приведенным ранее для сосняка уравнениям (Биопродукционный процесс..., 2001). Массу растений напочвенного покрова на ППП определяли методом укосов на площади 50×50 см в 10-кратной повторности (Методы изучения..., 2002), а их продукцию, отделяя побеги растений текущего года. Коэффициент полезного действия (КПД) падающей фотосинтетически активной радиации (ФАР) рассчитывали по (Тооминг, 1977), а коэффициент продуктивности или эффективности работы ассимиляционного аппарата сосны по А.И. Уткину (1975). Сбор древесного опада осуществляли с помощью опадоуловителей размером 50×50 см в 15-20-кратной повторности на ППП. Содержание углерода и калорийность отдельных фракций фитомассы рассчитывали согласно К.С. Бобковой, В. В. Тужилкиной (2001).

Описание почвы и отбор образцов для анализа проводили общепринятыми методами (Розанов, 2004). Расчет запасов $C_{орг}$ в почвах осуществлялся по (Смагин и др., 2001). Для определения массовой доли углерода в органических соединениях использовали коэффициент 1.724 (Теория и практика..., 2006). Подстилку отбирали металлическим шаблоном площадью 98 см² в 25-кратной повторности. Каждый ее образец разбирали по подгоризонтам. Разложение опада и лесной подстилки изучали, закладывая на год в почвы растительные остатки и образцы лесной подстилки в капроновых мешочках в пятикратной повторности (Heath et al., 1964). Описание почв и расчет запасов углерода 60-летнего сосняка чернично-сфагнового выполнено по данным И.Б. Арчевой (1985). При измерении эмиссии CO₂ с поверхности почвы использовалась открытая динамическая (принудительной продувки LI-COR 8100-103) камера с применением ИКГ LI-COR 8100 (LI-COR Biosciences, США).

Температуру и влажность почвы измеряли при помощи автономных термисторов LoggerNet (США), установленных на поверхности почвы и глубинах 5, 10, 20, 30, 40, 60 см. Влажность почвы определяли на границе органогенного и подзолистого горизонтов. Содержание азота и углерода в растениях, подстилке и почве определяли методом газовой хроматографии на анализаторе элементном EA 1110 (CHNS-O) (фирма SE Instruments, Италия) в экоаналитической лаборатории Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Статистическая обработка полученных результатов выполнена по Г.Ф. Лакину (1990) и И.И. Гусеву (2002) с использованием программ Microsoft Excel, Statistica 6.0.

Глава 3. Биологическая продуктивность и углерод фитомассы в сосняках чернично-сфагновых

Запасы органической массы фитоценозов. Анализ модельных деревьев в чернично-сфагновых сосняках показал, что связь массы отдельных надземных органов и фитомассы всего дерева в целом от диаметра лучше всего описывается полиномиальным $y = ax^2 + bx + c$, а корней – степенным $y = ax^b$ уравнением. Наблюдается тесная положительная связь массы различных органов с диаметром и очень слабая с возрастом дерева.

Фитомасса древостоев сосняков чернично-сфагновых значительно изменяется по мере их развития. Так, в 45-летнем возрасте в растущих органах деревьев древостоя накапливается 72.5, 60-летнем – 90, 80-летнем – 112, 118-летнем – 113.4 т га⁻¹ органической массы, основную часть которой формирует сосна (86–99%). Следует отметить относительно стабильные соотношения отдельных компонентов фитомассы древостоя. Листья (хвоя) составляют около 4%, ветви – 5-6, стволовая древесина – 60-63, корни – 21-24% от общей массы растущих деревьев. Запасы органической массы деревьев подроста варьируют от 1.9 до 11.3 т га⁻¹. Наибольшие значения их отмечены в 45-летнем, минимальные – в спелом сосняке. Фитомассу подроста формируют в основном сосна и береза, участие ели незначительно. В сосняках чернично-сфагновых масса растений напочвенного покрова составляет 5-11 т га⁻¹, большая часть которой приходится на сфагновые мхи (14-46%) и чернику (17-42%). В 45- и 118-летних фитоценозах относительно высоки запасы голубики (13 и 21.8%), зеленых мхов (18.6 и 21.3%) от общей фитомассы растений напочвенного покрова. Доля остальных растений в общей массе рассматриваемого яруса менее 10%. Общие запасы органической массы в фитоценозах среднетаежных сосняков чернично-сфагновых разного возраста составляет 89.3-125.7 т га⁻¹ (табл. 2).

Таблица 2

Запасы органической массы фитоценозов сосняков чернично-сфагновых, т га⁻¹

Компонент фитоценоза	Возраст, лет			
	45	60	80	118
Древостой	72.5	90.0	111.9	113.4
Подрост	11.3	8.3	2.7	1.9
Напочвенный покров	5.5	11.0	5.8	10.4
Итого	89.3	109.3	120.4	125.7

Углерод фитомассы ценозов. Пул углерода в фитоценозах среднета-жных сосняков чернично-сфагновых с возрастом изменяется от 43 до 61 т га⁻¹ и большая часть его (81-93%) аккумулируется в древостое (рис. 1). В подросте концентрируется 0.9-5.4, в растениях напочвенного покрова – 2.6-5.1 т С га⁻¹.

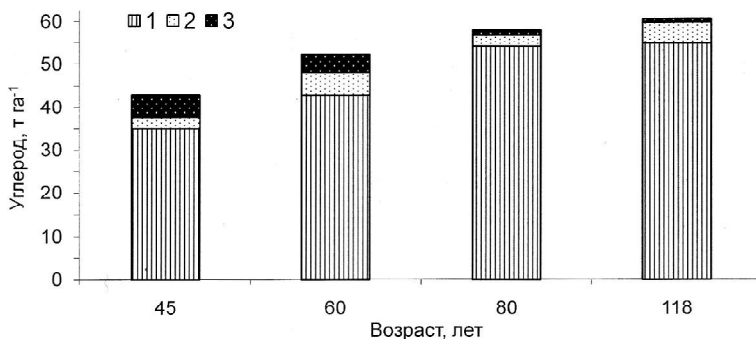


Рис. 1. Распределение углерода в фитомассе насаждений сосняков чернично-сфагновых: 1 – древостой; 2 – напочвенный покров; 3 – подрост.

Динамика органической массы и углерода сосняка чернично-сфагнувого. Прослежена динамика накопления органической массы и углерода в средневозрастном сосняке чернично-сфагнувом. Учет продуктивности ценозов был проведен в 1984 и 2008 гг. За этот период выявлен отпад березы из состава древостоя. В результате перехода деревьев из подроста в древесный ярус количество растущих деревьев возросло на 226 экз. га⁻¹. Отмечено увеличение суммы площадей сечения и запаса древесины. Масса органического вещества древостоя сосняка за 24 года возросла от 90 до 112 т га⁻¹, а содержание углерода фитомассы – от 43 до 54 т га⁻¹. За анализируемый период уменьшилась плотность подроста от 6.4 до 2.8 тыс. экз. га⁻¹, а фитомасса от 8.3 до 2.8 т га⁻¹. Существенны изменения в массе растений напочвенного покрова. Вследствие увеличения сомкнутости крон древостоя отмечается уменьшение участия в накоплении органической массы светолюбивых видов растений брусники, голубики и трав. Масса растений напочвенного покрова уменьшилась от 11.0 до 5.8 т га⁻¹, а содержание углерода – от 5.1 до 2.7 т га⁻¹.

Продукция фитомассы и углерода. Продукция органической массы фитоценозов (NPP) сосняков чернично-сфагнувых разного возраста составляет 4.1-6.3 т га⁻¹ год⁻¹, или 1.9-3.0 т С га⁻¹ год⁻¹ (рис. 2). Прирост фитомассы древесного яруса составляет 2.3-3.7 т га⁻¹ год⁻¹ или 1.1-1.8 т С га⁻¹ год⁻¹ и его формирует в основном сосна. Продукция органической массы в растениях подроста равна 0.06-0.38 т га⁻¹ или 0.03-0.17 т С га⁻¹ в год. Растения напочвенного покрова ежегодно формируют 1.3-2.8 т га⁻¹ год⁻¹ органической массы или 0.6-1.3 т С га⁻¹ год⁻¹. КПД использования ФАР (0.67-1.23%) и коэффициент продуктивности ассимиляционного аппарата сосны на формирование годичной продукции (55-62 г м⁻²) относительно низкие.

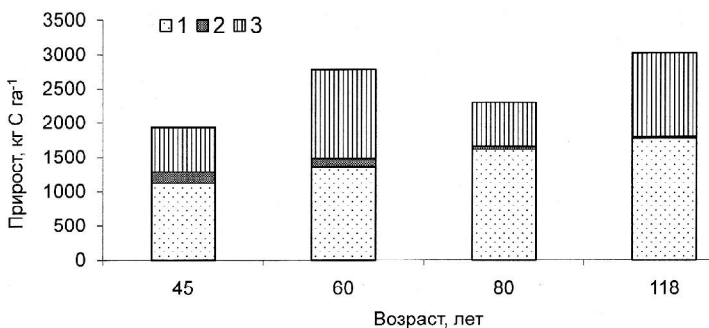


Рис. 2. Продукция углерода органической массы в фитоценозах сосняков чернично-сфагновых, кг С га⁻¹: 1 – древостой; 2 – подрост; 3 – растения напочвенного покрова.

Таким образом, сосняки чернично-сфагновые, развитые на болотно-подзолистых почвах, характеризуются невысокой продуктивностью, что обусловлено неблагоприятными гидротермическими условиями почв. Следует отметить, что сосняки зеленомошной группы типов на автоморфных почвах в условиях средней тайги образуют древостой III-IV класса бонитета и накапливают органической массы в 1.3-2.0 раза больше, чем сосняки на полугидроморфных почвах (Молчанов, 1971; Обмен веществ..., 1977; Бобкова, 1987; Vanninen, 1996; Kolari, 2004).

Глава 4. Экологические факторы болотно-подзолистых почв сосняков чернично-сфагновых

Охарактеризованы гранулометрический состав и химические свойства почв заболоченных сосняков. Почва 45-летнего насаждения сложена супесями, 60-летнего и спелого сосняков чернично-сфагновых – песками. Почвы 45- и 60-летнего сосняков подстилаются суглинками, а спелого – супесями. Болотно-подзолистые почвы кислые (рН 3.3-4.3), слабо насыщены основаниями, оглеены в нижней части профиля. Биогильные элементы накапливаются в подстилке, в минеральной части их содержание резко падает. Гумус представлен продуктами слабогумусированных разложившихся остатков, а также водорастворимыми веществами, поступающими из подстилki (Арчегова, 1985). По температурному режиму почвы сосняков чернично-сфагновых относится к типу холодных, сезоннопромерзающих. В течение вегетационных периодов 2008-2010 гг. продолжительность периода с благоприятной для роста корней температурой (выше 10 °С) в органогенном горизонте составила около 2 мес., а в более глубоких слоях почвы – менее 1.5 мес. Болотно-подзолистые почвы развиваются в условиях промывного водного режима и подвержены значительной его сезонной динамике. Они переувлажнены в течение большей части вегетационного периода. Максимальное содержание влаги (39-40% от объема) приходится на период таяния снега, минимальное (менее 10% от объема) на относительно жаркие периоды лета в 2008 и 2010 гг.

Глава 5. Углерод болотно-подзолистых почв сосняков

Почвы бореальных лесов являются значительным и относительно долговременным депо органического углерода (Кобак, 1988), пополнение запасов которого происходит при разложении поступающих с опадом растительных остатков. В сосняках поступивший опад в течение года не успевает разложиться полностью, и на поверхности почвы образуется особое природное тело – лесная подстилка (Карпачевский, 1981; Никонов, 1987).

Формирование лесной подстилки. Масса опада в сосняках чернично-сфагновых средней тайги составляет 2.6-3.7 т га⁻¹ или 1.3-1.8 т С га⁻¹, из них 42-57% приходится на древесной, остальная часть на растения почвенного покрова (рис. 3). Следует отметить увеличение массы опада древесного яруса от 45-летнего к 60-летнему возрасту и уменьшение его в 118-летнем насаждении сосняка. Более 50% от общего поступления растительного опада приходится на летние месяцы и осень. Скорость разложения отдельных компонентов растительного опада изменяется в соответствии с рядом: черника → травянистые растения → листья березы → хвоя сосны → зеленые мхи → сфагновые мхи → ветви. За год в сосняках чернично-сфагновых разлагается около 30% поступившего опада. Подгоризонты лесной подстилки ежегодно теряют в весе 3-8%. Более активное разложение наблюдается в ферментативном слое. Мощность лесной подстилки сосняков чернично-сфагновых составляет 16-19 см (табл. 3). Для нее характерно четкое разделение на подгоризонты. Толщина верхнего листового горизонта подстилки (A₀') варьирует в пределах 3-7 см, ферментативного (A₀'') – 7-9, и «прогумуссированного» (A₀'') – 3-6 см. Запасы углерода в органогенном горизонте варьируют в пределах 28.8-33.5 т га⁻¹.

Согласно классификации Л.Г. Богатырева (1990), подстилку сосняков чернично-сфагновых следует отнести по типу к торфянистым, по роду к сложным, по виду к среднемощным, по подвиду к хвойным.

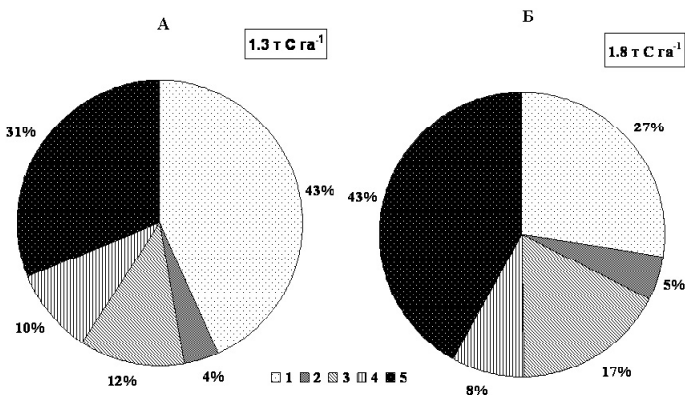


Рис. 3. Распределение растительного опада (%) по основным фракциям в 45- (А) и 118-летнем (Б) сосняках чернично-сфагновых: 1 – наземный листовой древесный опад (листья, хвоя, ветви, кора, шишки); 2 – мхи; 3 – кустарнички и травы; 4 – корни древесных растений; 5 – корни кустарничков и трав. В рамке – общая масса углерода.

Таблица 3

**Мощность, запасы органической массы и углерода
в подстилке сосняков чернично-сфагновых**

Возраст насаждения, лет	Мощность, см	Запас, т га ⁻¹	C, т га ⁻¹
45	16.6±1.3	73.6±2.9	32.9±1.2
60*	17.0	64.3±3.3	28.8±1.4
118	18.9±5.4	75.0±4.9	33.5±2.1

Генезис данной группы подстилок связан с относительным переувлажнением почв.

Содержание органического углерода в болотно-подзолистых почвах сосняков. Данные табл. 4 свидетельствуют, что в болотно-подзолистых почвах сосняков слой 0-20 см содержит в себе 26-51% C_{орг} от общего его содержания в почве. Представлен он в основном C_{орг} лесной подстилки. В ней концентрируется 25-47% углерода метрового профиля почвы. В болотно-подзолистых почвах всех исследованных нами хвойных экосистем большая часть C_{орг} приходится на корнеобитаемый слой 0-50 см и составляет 69-90% от общего его количества в метровом слое. Верхний метровый слой торфянисто-подзолисто-глееватой иллювиально-железистой почвы сосняков содержит 66-117 т C га⁻¹.

Таблица 4

**Запасы органического углерода в болотно-подзолистых почвах
сосняков чернично-сфагновых, т га⁻¹**

Возраст насаждения, лет	Глубина, см		
	0-20	0-50	0-100
45	38.5	105.7	117.0±4.3
60	30.0	78.2	112.6
118	31.9	50.1	66.4±2.5

Значительные вариации в содержании углерода почвы в сосновых насаждениях объясняются происхождением фитоценозов. В почвах сосняков, имеющих послепожарное происхождение (45- и 60-летние), отмечается более высокое содержание C_{орг} за счет высвобождения углерода в результате деструкции погибших от воздействия огня древесных растений (Исаев, Коровин, 1997). Кроме того, низкая емкость поглощения коллоидного комплекса песчаной почвы спелого сосняка в меньшей степени способствует накоплению гумуса (Забоева, 1975; Лесные экосистемы..., 2002).

**Глава 6. Эмиссия углекислого газа
с поверхности торфянисто-подзолистой глееватой**

иллювиально-железистой почвы сосняка чернично-сфагнового

Изучение выделения углекислого газа с поверхности почвы было проведено в спелом 118-летнем сосняке чернично-сфагновом. В суточной динамике эмиссии CO₂ отмечен относительно низкий поток его из

почвы в утренние и дневные часы (с 5 до 14 ч) с постепенным повышением интенсивности выделения в вечернее и ночное время (с 17 до 3 ч), что связано с изменениями термического режима почв в течение суток. В течение вегетационного периода интенсивный поток происходит с конца июня до начала августа, величина его в 2008 г. составила 1.0-1.2 мкмоль м⁻² с⁻¹, а в 2009 г. – 0.4-0.5 мкмоль м⁻² с⁻¹ (рис. 4). Существенные различия в выделении CO₂ по годам можно объяснить более низкими температурами в сочетании с интенсивным выпадением осадков (165% к норме) в этот период 2009 г.

Рассмотрена эмиссия CO₂ с поверхности почвы в зависимости от экологических факторов. Известно, что температура и влажность почвы являются наиболее значимыми факторами, определяющими скорость деструкции органического вещества и интенсивность выделения CO₂ из почв (Swift et al., 1979; Ларионова и др., 1993; Мамаев, Молчанов, 2004 и др.). В 2008 г. отмечена значительная связь скорости выделения CO₂ с влажностью (R² = 0.52) и слабая с температурой почвы (R² = 0.13), а в 2009 г. наоборот выявлена значительная связь эмиссии CO₂ с температурой (R² = 0.63) и слабая с влажностью почвы (R² = 0.26).

Полученные линейные уравнения взаимосвязи эмиссии CO₂ от температуры и влажности почвы (рис. 5, 6) были использованы для оценки величины сезонного выделения углекислого газа. Кроме однофакторного был применен двухфакторный анализ влияния влажности и

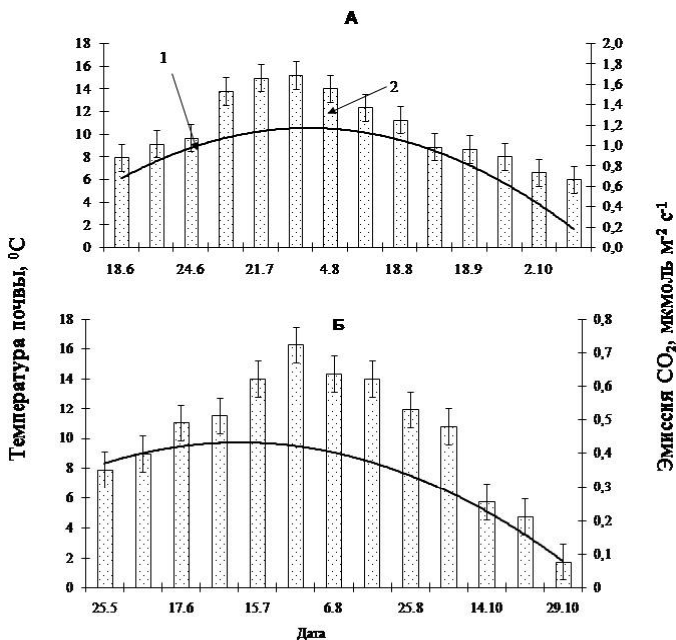


Рис. 4. Сезонная динамика эмиссии CO₂ с поверхности болотно-подзолистой почвы сосняка чернично-сфагнового в 2008 г. (А), 2009 г. (Б): 1 – эмиссия CO₂; 2 – температура почвы на глубине 10 см.

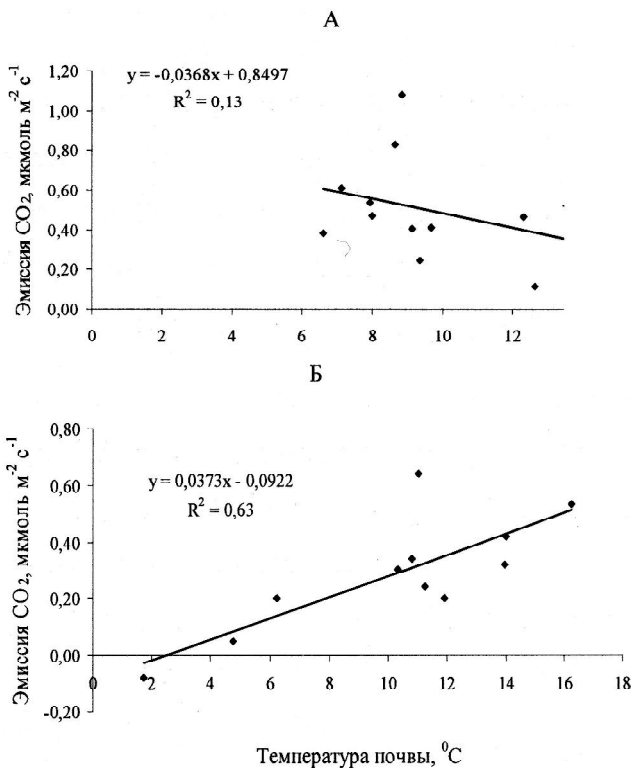


Рис. 5. Влияние температуры почвы на эмиссию CO_2 с поверхности почвы сосняка чернично-сфаганового в 2008 г. (А), 2009 г. (Б).

температуры почвы на выделение углекислого газа в программе Statistica 6.0. Выявлено, что эта связь описывается линейным уравнением вида: « $E = 0.0876 \times T + 4.9036 \times B - 0.9626$ » с коэффициентом корреляции 0.85 для данных 2008 г., и « $E = 0.0453 \times T + 1.5173 \times B - 0.4827$ », с коэффициентом корреляции 0.87 для величин, полученных в 2009 г., где E – эмиссия CO_2 $\text{мкмоль м}^{-2} \text{с}^{-1}$; T – температура почвы на глубине 10 см, $^{\circ}\text{C}$; B – объемная влажность почвы $\text{м}^3 \text{м}^{-3}$. Одновременно с расчетами по уравнениям вычисляли эмиссию диоксида углерода по среднемесячному потоку CO_2 , используя формулу:

$$E = \sum_{i=1}^i \text{CO}_2 \times N \times 38.02,$$

где E – эмиссия CO_2 за сезон кг га^{-1} ; CO_2 – среднемесячная эмиссия CO_2 , $\text{мкмоль м}^{-2} \text{с}^{-1}$; N – число дней; 38.02 – переводной коэффициент из $\text{мкмоль м}^{-2} \text{с}^{-1}$ в $\text{кг CO}_2 \text{га}^{-1} \text{день}^{-1}$.

Анализ табл. 5 показывает, что вычисленные по уравнениям значения выделения углерода с углекислым газом варьируют в незначительных пределах 0.64-0.67 т С га^{-1} , что несколько меньше рассчитанной

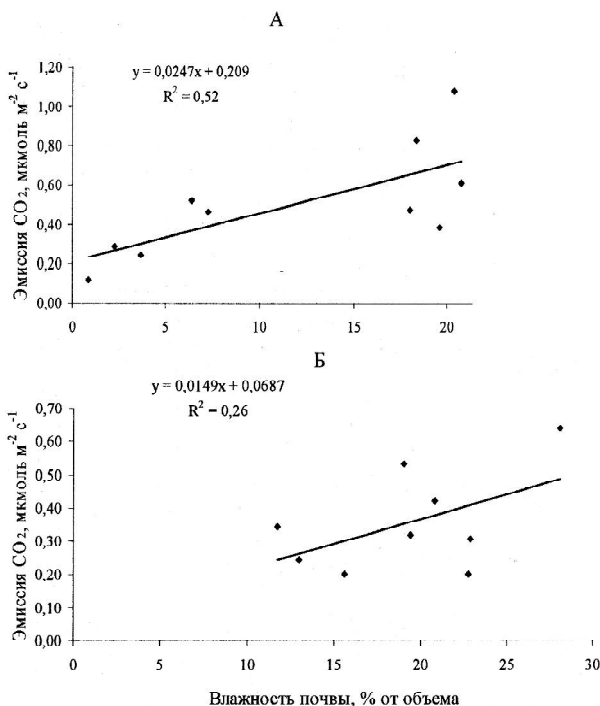


Рис. 6. Влияние влажности почвы на эмиссию CO_2 с поверхности почвы сосняка чернично-сфагнового в 2008 г. (А), 2009 г. (Б).

Таблица 5

Поток С- CO_2 с поверхности почвы сосняка чернично-сфагнового в течение вегетационного периода в зависимости от экологических факторов, т га⁻¹

Показатель	Год	
	2008	2009
Температура почвы	0.64	0.43
Влажность почвы	0.66	0.65
Температура и влажность почвы	0.65	0.45
Расчетные данные	0.90	0.68
Среднее	Не вычисляли	0.50

величины выделения углерода равной 0.9 т С га^{-1} . Полученные расхождения оценок можно объяснить тем, что регистрация температуры и влажности почвы в 2008 г. началась только в июле. В расчетные данные включены и значения, полученные в июне.

Вычисленное по уравнениям выделение углерода с углекислым газом с конца мая по конец октября 2009 г. составило $0.41\text{-}0.65 \text{ т С га}^{-1}$, а рассчитанная величина – 0.68 т С га^{-1} . В среднем за период с 20 мая по 31 октября эмиссия углерода в атмосферу равна 0.50 т С га^{-1} . 2009 г. характеризовался меньшим выделением диоксида углерода.

Заклучение

В данном разделе дана оценка бюджета углерода в сосняках. Так, в экосистемах среднетаежных сосняков чернично-сфагновых разного возраста накапливается 129-175 т С га⁻¹, более половины (51-73%) которого сосредоточено в верхнем метровом слое почвы. Фитомасса ценоза является вторым по величине пулом и концентрирует 27-41% органического углерода экосистем заболоченных сосняков. Запасы углерода фитомассы увеличиваются с возрастом насаждения. Содержание углерода в крупных древесных остатках составляет (2-8%) от общего количества углерода в экосистеме и более высокие концентрации его отмечены в приспевающем древостое, что обусловлено процессами интенсивного развития древостоя и отпада деревьев в этот период.

Характеризуя бюджет углерода лесных экосистем, необходимо оценить не только его пулы, но и основные потоки (табл. 6). Так, в среднетаежных сосняках чернично-сфагновых ежегодно ассимилируется 1.9-3.0 т С га⁻¹, из которых 53-71% составляет продукция органической массы древесных растений (древостой, подрост). В сосняках данных типов в депонировании углерода значительно участие (29-47%) растений напочвенного покрова.

Органическое вещество опада растительных остатков сосняков чернично-сфагновых включает 1.30-1.82 т С га⁻¹, из них на долю древостоя приходится 42-57%. При разложении опада освобождается около 0.40-0.56 т С га⁻¹ год⁻¹. По данным С.В. Загировой (1999), в условиях средней тайги дыхание стволов сосны в сосняках равно в среднем 34 мг СО₂ дм⁻² за сутки, что оценивается в 0.15-0.26 т С га⁻¹ в течение вегетационного периода. Дыхание ветвей сосны составляет 9% от суммарного дыхания ветвей и ствола (Цельникер, Молчанов, 2005; Забуга, Забуга, 2006). Для определения разложения подстилки применяли полученные константы разложения 0.03 для А₀' и 0.08 для А₀''. Вклад корней в общую эмиссию СО₂ из почвы сосняков, согласно оценкам разных авторов, варьирует от 22 до 90% (Кобак, 1988; Silvola et al., 1996; Hanson et al., 2000 и др.). По К.И. Кобак (1988), дыхание корней в спелом сосняке чернично-сфагновом равно 22% от общей эмиссии, что мы и использовали в наших расчетах.

Таблица 6

Потоки углерода в сосняках чернично-сфагновых, т га⁻¹ год⁻¹

Потоки	Возраст, лет			
	45	60	80	118
НРР	1.92	2.78*	2.29	3.02
Опад	1.30	1.82*	–	1.80
Разложение опада	0.40 (0.34)**	0.56 (0.47)	–	0.55 (0.47)
Разложение подстилки	1.18 (1.00)	–	–	1.15 (0.98)
Дыхание стволов и ветвей	0.17	0.20	0.29	0.25
Эмиссия С-СО ₂ из почвы (в том числе дыхание корней)	–	–	–	0.79 (0.17)

* По К.С. Бобкова (Эколого-физиологические..., 1993).

** В скобках поток С-СО₂ в атмосферу ≈85% от разложения (Ведрова, 1997).

Прочерк – не определяли.

Изучив основные потоки углерода в фитоценозе и, используя расчетные данные авторов, приведенные выше, произведена оценка баланса углерода как в экосистеме спелого сосняка чернично-сфагнового, так и в почве: Баланс С в экосистеме = NPP – Дыхание гетеротрофов. Баланс углерода в почве определяли исходя из поступления в виде растительного опада и потерь в виде CO_2 при разложении органического вещества: Баланс С в почве = Поступление опада – Дыхание гетеротрофов (Пулы и потоки..., 2007). Так, баланс углерода ($\text{т С га}^{-1} \text{ год}^{-1}$) в экосистеме равен 0.58, а баланс углерода в почве 0.02. Таким образом, спелый сосняк чернично-сфагновый является резервуаром для стока 0.58 $\text{т С га}^{-1} \text{ год}^{-1}$.

Выводы

1. В экосистемах чернично-сфагновых сосняков средней тайги аккумулировано от 129 до 175 т С га^{-1} . В насаждениях разного возраста в сходных лесорастительных условиях распределение массы углерода между растительным и почвенным блоками составляет 27-49 и 51-73% соответственно. С возрастом увеличивается доля углерода фитомассы при снижении углерода почвы.

2. В фитоценозах 45-, 60-, 80-, 118-летних сосняков на болотно-подзолистых почвах сосредоточено 43.0, 52.0, 57.9, 60.4 т С га^{-1} соответственно. Основную массу углерода (90-95%) аккумулируют древесные растения, доля напочвенного покрова составляет 5-10% от общих запасов.

3. В крупных древесных остатках сосняков чернично-сфагновых аккумулировано 0.7-4.7 т С га^{-1} . Более высокие значения данного показателя отмечены в преспевающем сосняке, что обусловлено усилением дифференциации деревьев по состоянию и их отпадом.

4. Запасы углерода в верхнем метровом слое болотно-подзолистых почв сосняков варьируют от 66 до 117 т С га^{-1} , из них 69-90% сосредоточено в корнеобитаемом слое 0-50 см. В лесной подстилке аккумулировано 28.8-33.5 т С га^{-1} с относительно равномерным распределением в подгоризонтах A_0' , A_0'' , A_0''' . Накоплению подстилки способствует характерный для болотно-подзолистых почв замедленный тип разложения растительных остатков.

5. В нетто-продукции 45-, 60-, 80- и 118-летних сосняков на болотно-подзолистых за год депонируется 1.9, 2.8, 2.3 и 3.0 т га^{-1} в год углерода соответственно. Коэффициент продуктивности ассимиляционного аппарата низкий и составляет 55-62 г м^{-2} .

6. В сосняках чернично-сфагновых ежегодно с опадом на поверхность почвы возвращается 60-67% от нетто-продукции, что составляет 1.3 в 45-летнем, 1.8 т С га^{-1} в 60- и 118-летних насаждениях. На опад древесных растений приходится 42-57%, а растений напочвенного покрова – 43-58% от общего годичного опада.

7. Скорость деструкции компонентов растительных остатков и подстилки варьирует от 3 до 59% от массы. За первый год разлагается около 30% массы поступившего опада. Подстильно-опадочный коэффициент составляет 26.7-46.8, что свидетельствует о замедленном био-

логическом круговороте и слабой активности процессов разложения. Прирост органического углерода в почве составляет около 1% от массы опада, что эквивалентно $0.02 \text{ т С га}^{-1} \text{ год}^{-1}$.

8. С поверхности почвы спелого сосняка чернично-сфагнового за вегетационный период выделяется $0.68\text{-}0.90 \text{ т С-CO}_2 \text{ га}^{-1}$. Максимальный поток CO_2 из почвы отмечен в конце июля – начале августа и составил $1.0\text{-}1.2 \text{ мкмоль м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ в 2008 г., $0.4\text{-}0.5 \text{ мкмоль м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ в 2009 г. Выявлена тесная связь ($r = 0.85\text{-}0.87$) зависимости потока CO_2 с поверхности почвы от совместного действия температуры и влажности почвы.

9. Установлено, что спелый сосняк чернично-сфагновый на болотно-подзолистых почвах в подзоне средней тайги является резервуаром для стока углекислого газа. Чистая экосистемная продукция (NEP) составляет $0.58 \text{ т С га}^{-1} \text{ год}^{-1}$.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В изданиях, рекомендованных ВАК:

Осипов А.Ф., Кузнецов М.А. Содержание органического углерода в болотно-подзолистых почвах хвойных лесов средней тайги европейского северо-востока России // Лесоведение, 2010. № 6. С. 65-70.

В прочих изданиях:

1. Осипов А.Ф. Структура фитоценоза сосняка чернично-сфагнового подзоны средней тайги / А.Ф. Осипов // Молодежь и наука на Севере: Матер. докл. I Всерос. молодеж. науч. конф. Т. III. Актуальные проблемы биологии и экологии: Матер. докл. XV Всерос. молодеж. науч. конф. (Сыктывкар, Республика Коми, Россия, 14–18 апреля 2008 г.). Сыктывкар, 2008. С. 218-219.

2. Осипов А.Ф. Фитомасса деревьев сосны в сосняках чернично-сфагновых подзоны средней тайги / А.Ф. Осипов // Проблемы региональной экологии в условиях устойчивого развития: Сб. материалов VI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием в 2 частях. Часть 1 (г. Киров, 25-27 ноября 2008 г.). Киров: Изд-во «О-Краткое», 2008. С 28-29.

3. Осипов А.Ф. Содержание углерода и азота в болотно-подзолистой почве сосняка средней тайги / А.Ф. Осипов // Материалы Всероссийской научной конференции XII Докучаевские молодежные чтения «Почвы и продовольственная безопасность России». СПб.: Издательский дом СПбГУ, 2009. С. 212-213.

4. Осипов А.Ф. Запасы органического углерода в сосняках чернично-сфагновых подзоны средней тайги / А.Ф. Осипов // Актуальные проблемы биологии и экологии: Материалы докладов XVI Всероссийской молодежной конференции (Сыктывкар, Республика Коми, Россия, 6-10 апреля 2009 г.). Сыктывкар, 2009. С. 149-150.

5. Осипов А.Ф. Содержание органического углерода и азота в болотно-подзолистых почвах сосняков средней тайги Республики Коми / А.Ф.

Осипов // Материалы III Международной конференции по лесному почвоведению «Продуктивность и устойчивость лесных почв». Петрозаводск, 2009. С. 161-164.

6. **Осипов А.Ф.** Динамика содержания углерода фитомассы насаждений среднетаежного сосняка чернично-сфагнового / А.Ф. Осипов // Актуальные проблемы биологии и экологии: Материалы докладов XVII Всероссийской молодежной конференции (Сыктывкар, Республика Коми, Россия, 5-9 апреля 2010 г.). Сыктывкар, 2010.

7. **Осипов А.Ф.** Продукция фитомассы и углерода в заболоченных хвойных фитоценозах средней тайги Республики Коми / А.Ф. Осипов, М.А. Кузнецов // Материалы докладов III Всероссийской научной конференции с международным участием в II частях «Экологические проблемы северных регионов и пути их решения». Апатиты, 2010. Часть I. С. 86-89.

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

Тираж 100

Заказ 05(11)

Информационно-издательский отдел
Учреждения Российской академии наук
Института биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН
167982, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28