**Чан Тхи Тху Нян. Пулы и потоки углерода в Охтинском лесном массиве (Ленинградской области) : диссертация ... кандидата биологических наук : 06.03.02 / Чан Тхи Тху Нян; [Место защиты: С.-Петерб. гос. лесотехн. акад. им. С.М. Кирова].- Санкт-Петербург, 2012.- 198 с.: ил. РГБ ОД, 61 12-3/867**

На правах рукописи

**04 2 С**

Чан Тхи Тху Нян

ПУЛЫ И ПОТОКИ УГЛЕРОДА В ОХТИНСКОМ ЛЕСНОМ МАССИВЕ (ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ)

06.03.02 - Лесоведение, лесоводство, лесоустройство и лесная таксация

диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук

Научный руководитель: д.б.н., профессор В.А. Соловьев

Санкт-Петербург - 2012

**Предисловие**

Работа выполнена на кафедре общей экологии, физиологии растений и древесиноведения Санкт-Петербургского государственного

лесотехнического университета имени С.М.Кирова (СПбЛТУ) во время обучения в очной аспирантуре с 20.10.2007 г. по 20.11.2011г. Все полевые работы проводились в Охтинском учебно-опытном лесхозе.

Автор выражает глубокую признательность научному руководителю профессору Виктору Александровичу Соловьеву, доценту Екатерине Владимировне Шороховой, директору Охтинского лесхоза Владимиру Егоровичу Романову за помощь и поддержку, оказанные при выполнении данной работы.

Хочется также благодарить профессора кафедры лесной таксации, лесоустройства и ГИС-технологии А.В. Любимова за ценные замечания; Нгуен Тху Ханг, Е.В. Сивуна и С.В. Тетюхина за помощь в полевых работах и лабораторных исследованиях; и сотрудников кафедры общей экологии, физиологии растений и древесиноведения за консультации по разным вопросам диссертации.

**з**

**Список сокращений**

БГЦ биогеоценоз

**жнп** живой напочвенный покров

КДО крупные древесные остатки

ГУЛФ государственный учет лесного фонда

NPP (ЧПП) чистая первичная продукция

NEP чистая экосистемная продукция

GPP валовая первичная продукция

TER общее экосистемное дыхание

КПД ФАР коэффициент полезного действия фотосинтетически - активной радиации

Предисловие 2

Список сокращений 3

ВВЕДЕНИЕ 7

ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ИЗУЧАЕМОГО ВОПРОСА 11

1. Значение баланса углерода для устойчивости биосферы 11

Аккумулирование углерода в лесных экосистемах 13

1. Концентрация углерода в лесных массивах 13
2. Депо углерода в наземных экосистемах 14
3. Потоки углерода в лесных экосистемах 17
4. Роль КДО в круговороте углерода 19
5. Запасы органического углерода в почвах 21
6. Методические подходы к оценке параметров круговорота углерода в экосистеме 23
7. Конверсионно - объемный метод 23
8. Балансовая модель потоков углерода в лесах при использовании базы

данных ГУЛ 24

1. Рекурсивный метод 25
2. Заключение состояния вопроса 26

ГЛАВА 2. ОБЪЕКТА И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ 27

1. Общая характеристика Охтинского учебно-опытного лесхоза 27
2. Общие сведения о лесхозе 27
3. Лесорастительные условия 29
4. Характеристика лесного фонда, основные положения организации и

ведения лесного хозяйства 34

1. Рубки ухода - лесохозяйственные мероприятия, влияющие на

круговорот углерода 44

1. Методика работ 45
2. Уточнение понятия о лесном массиве 45
3. Использование повыдельной базы данных лесоустройства

2004г 46

1. Сбор данных лесорубочного билета и принципы работы с ними 46
2. Использование данных о динамике лесного фонда 48
3. Оценка пулов и потоков углерода, связанного с древесным веществом в отдельных БГЦ 51
4. Расчет запасов углерода в почве 60
5. Использование ГИС 61
6. Распределение фракции фитомассы деревьев и древостоев 63
7. Оценка энергетической эффективности роста древостоев 65

ГЛАВА 3. ЗАПАСЫ УГЛЕРОДА В ФИТОМАССЕ ДРЕВОСТОЕВ 67

3.1.Запас углерода в различных фракциях фитомассы по группам

возраста 67

1. Запас углерода в различных фракциях фитомассы по классам

бонитета 69

1. Запас углерода в различных фракциях фитомассы по типам леса 71

ГЛАВА 4. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛЕРОДА ПО ФРАКЦИЯМ

ДРЕВОСТОЕВ 72

ГЛАВА 5. ПУЛЫ И ПОТОКИ УГЛЕРОДА В ОХТИНСКОМ ЛЕСНОМ МАССИВЕ 80

1. Потоки углерода в древостоях 80
2. [Годичный баланс углерода в древостоях ОЛМ 84](#bookmark2)
3. [Запас углерода в КДО и в почве ОЛМ 85](#bookmark3)
4. Лесной массив. Динамика запаса углерода ОЛМ за период с 1981 по 2004 гг 88
5. Основные запасы и потоки углерода в ОЛМ 93
6. Запасы углерода в лесном массиве 96
7. Сравнение методов оценки параметров круговорота углерода в Охтинском лесном массиве 97
8. [. Показатели продуктивности OJ1M 98](#bookmark4)

**ГЛАВА** 6. ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РОСТА ДРЕВОСТОЕВ

И ОЦЕНКА ОЛМ ПО ГАЗООБМЕНУ С АТМОСФЕРОЙ 101

ВЫВОДЫ 105

Список использованной литературы 108

Приложения 1 132

Приложения 2 135

Приложения 3 165

Приложения 4 186

Приложения 5 188

**ВВЕДЕНИЕ**

**Актуальность темы.** Пулы и потоки углерода в экосистемах тесно (количественно) связаны с их продуктивностью и энергетической эффективностью. Изучение фитомассы и продуктивность в различных экосистемах, в том числе лесных, началось в России в конце 60-х годов XX века в связи с Международной биологической программой (Родин, Базилевич, 1965; Базилевич, 1993). Эти исследования значительно активизировались после принятия Рамочной Конвенции ООН об изменении климата (1992) и Киотского протокола (1997). За последние 140 лет среднегодовая температура возросла на 0,6±0,2° С и продолжает повышаться, что может привести к изменениям глобальных потоков вещества и энергии с трудно предсказуемыми последствиями. По сравнению с другими парниковыми газами антропогенная эмиссия двуокиси углерода (С02) вносит наибольший вклад в образование парникового эффекта — около 60% (Climate Change, 1995; Исаев и др., 1995; Заварзин, Колотилова, 2001; Гитарский, 2007).

Проблема изучения динамики потоков углерода в экосистемах разного ранга тесно связана с тенденциями в изменении климата, и ее решение позволит достоверно прогнозировать состояние окружающей среды на ближайшую и отдаленную перспективы. Леса России играют значительную роль в углеродном балансе земной атмосферы (Писаренко, Страхов, 2004). Благодаря фотосинтезу лесные экосистемы способны компенсировать эквивалентную по величине эмиссию С02 и других парниковых газов и, тем самым, временно смягчать изменения климата. Важную роль в этом процессе играют бореальные леса, в растительности и почве которых сосредоточены наибольшие запасы углерода (Кобак, 1988; Исаев с соавт., 1995; Круговорот углерода..., 1999; Заварзин, 2003; Гитарский, 2007; Пулы и потоки, 2007).

Большинство работ выполнено либо на глобальном, национальном и региональном уровне, либо на постоянном пробных площадях (ППП). До последнего времени расчет баланса углерода был основан преимущественно на материалах Государственного учета лесного фонда (ГУЛФ) (Исаев, Коровин, 2006; Швиденко и др., 2000, 2003; Svidenko, Nilsson, 2002). Изданы наиболее обоснованные обширные сводки результатов такого учета по России (Алексеев, Бердси, 1994; Исаев, Коровин, 1999; Швиденко и др., 2000, 2002; Замолодчиков и др., 2005; Кудеяров и др., 2007; Усольцев, 2002, 2006).

Основным показателем функционального состояния лесных экосистем признается чистая первичная продукция (NPP). Однако в последнее время для оценки органического углерода в биосфере начали применяться экологические концепции продуктивности (Заварзин, 2006; Пулы и потоки, 2007). Действительно чистая экологическая продукция (NEP) и чистая биомная продукция (NPB) более точно описывают влияние экосистемы любого ранга на окружающую среду и её хозяйственное значение. Изучение продуктивности на локальном уровне (на уровне лесного массива) с использованием данных лесной инвентаризации актуально для более полной оценки лесных ресурсов и экологического значение массива.

Выяснить вклад лесного массива в биосферные процессы, а также потоки энергии и циклы органического углерода, сопряженного с системой биогеохимических циклов разного масштаба, включая конкретные экосистемы (Заварзин, 2003; Заварзин, Колотилова, 2001), возможно только на основании оценки баланса углерода на локальном уровне (в масштабе лесничества, административного района). Уникальным объектом для оценки роли конкретного лесного массива в глобальном круговороте углерода является Охтинский учебно-опытный лесхоз Ленинградской области, на территории которого уже более 140 ведутся комплексные (всесторонние) исследования.

**Цель и задачи исследования.** Цель настоящей работы заключается в количественной оценке запасов и потоков углерода лесного массива и отдельных биогеоценозов (БГЦ) на территории Охтинского лесного массива (OJIM). Для достижения поставленной цели, решались следующие задачи:

1. определение запасов углерода в фитомассе древостоев различных выделов;
2. выяснение закономерности распределения углерода по фракциям фитомассы древостоев и всего OJIM;
3. расчет суммарного изменения запасов углерода фитомассы древостоев в связи с динамикой лесного фонда и лесохозяйственной деятельностью за 1981 -2006 гг;
4. сравнительная оценка 2-х методов расчета запасов и потоков углерода в фитомассе древостоя: «по обобщенным данным лесоустройства» и «по повыдельной базе данных лесоустройства»;
5. расчет энергетической эффективности роста древостоев и оценка газовой функции OJ1M.

**Положения, выносимые на защиту: 1)** закономерности

распределения углерода по фракциям фитомассы древостоев ОЛМ; 2) результаты расчета запасов углерода в различных выделах на территории OJIM; 3) результаты оценки 2-х методов расчета запасов и потоков углерода в фитомассе древостоя; 4) расчет показателей углеродного цикла по данным ГУЛФ и экологической концепции продуктивности; 5) обобщенная оценка экологического состояния ОЛМ по КПД фотосинтетически активной радиации (ФАР) древостоя.

**Научная новизна.** Определены основные пулы и потоки углерода в лесном массиве на основе данных ГУЛФ и дана их экологическая интерпретация для оценки значимости массива в его газообмене с атмосферой. Показана возможность расчета распределения углерода по фракциям фитомассы различных древостоев (разных по преобладающей породе, группе возраста, классу бонитета и типу леса) на основе рангового

распределения Парето. Дана обобщенная оценка состояния лесного массива по эффективности использования ФАР в синтезе стволовой древесины.

**Теоретическая и практическая значимость работы** заключается в методике расчета запасов углерода в стволовой древесине, корнях, ветвях и листве (хвое), что открывает возможности более полного учета лесных ресурсов и оценки эффективности лесохозяйственных мероприятий. Запасы углерода и баланс его потоков представляет интерес для оценки роли массива в его газообмене с атмосферой. Результаты работы могут быть использованы в бакалаврских курсах учебных дисциплин «Лесоведение», «Лесоустройство», «Экология», «Пулы и потоки углерода в лесных экосистемах»; в магистерском курсе «Биогеоценология».

**Обоснованность и достоверность результатов.** Полученные результаты базируются на материале лесного фонда ОЛМ. Для определения запасов и потоков углерода использовали базы данных лесоустройства 2005 г., планы лесонасаждений, лесорубочные билеты, почвенную карту 2004 г., а также результаты полевых учетов крупных древесных остатках (КДО) в 2006 - 2007гг. и привлечение обширной литературы. Достоверность результатов достигнута применением программы математической статистики (ППП Statistica 6.0, Statistica 10 trial), Maplnfo Professional в процессе обработки и анализа результатов.

**Апробация и публикации работы.** Результаты исследований доложены и обсуждены на международной научно-практической конференции молодых ученых «Биологическое разнообразие, озеленение, лесопользование», Санкт-Петербург, 2009; научно-технической конференции Санкт-Петербургской государственной лесотехнической академии по итогам научно-исследовательских работ 2010, 2011; международной научно- технической интернетконференции «Леса России в XXI веке», Санкт- Петербург, 2011; международной научно-технической конференции молодых ученых «Современные проблемы и перспективы рационального лесопользования в условиях рынка», Санкт-Петербург, 2011. По теме диссертации опубликовано 6 работ, в том числе три работы в рецензируемых изданиях.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация изложена на 192 страницах машинописного текста, состоит из введения, 6 глав, заключения и 5 приложений. Список литературы включает 236 наименований, в том числе 58 на иностранных языках. Текст иллюстрирован 21 таблицами и 25 рисунками.

ВЫВОДЫ

1. Получены материалы по запасу углерода в различных фракциях фитомассы и в древесном детрите (КДО) в зависимости от преобладающей породы, группы возраста, класса бонитета и типа леса. Они уточняют наличие лесных ресурсов в OJIM;
2. Показано, что фракционная структура древостоев и в целом всего OJIM удовлетворительно описывается распределением Парето. Выявленная закономерность позволяет рассчитать массу углерода (и соответственно массу каждой фракции) по уравнению:

m(i)= exp (я - ***b***.In і), (7)

где, а= In m(l), m(l) - масса углерода первой по рангу стволовой части фитомассы (древесина + кора), наиболее легко определяемая эмпирически; ***b*** - константа, зависящая в основном от породы. Для сосняков ***Ь=*** 2.06’, березняков 2.08, ельников 1.76, осинников 1.68, для ОЛМ 1.98. Для молодняков величина ***b*** значительно меньшая, например, для березняков 1.35.

1. Определены основные пулы и потоки углерода в ОЛМ. Среди древостоев основным резервуаром для стока углерода из атмосферы являются средневозрастные и приспевающие ельники и березняки. Спелые и перестойные древостой всех пород также служат резервуаром для стока углерода в меньшей степени. Фитомасса древостоев ОЛМ составляет 72.0 тС га'1. Масса углерода в КДО в среднем равна 8.2 тС га'1, распределяясь по территории случайным образом.
2. Максимальный запас углерода (587 тС га'1) сосредоточен в подстилке и почве. На территории преобладают торфяно-глеевые осушенные и болотно-подзолистые почвы с мощностью торфяного слоя около 0.8 м. При изменении землепользования почвенные запасы углерода в значительном количестве попадут в атмосферу.
3. Учтены следующие потоки углерода (т С га'1 год'1): прирост фитомассы (0.86), опад (2.97), отпад (0.58), разложение опада (1.13), ксилолиз (0.09) и микробное дыхание почвы (1.22), вывозка древесины (0.14).
4. Результаты расчетов по «обобщенным» и по «повыдельным» данным лесоустройства различаются незначительно по запасам (отклонение от 3% по стволовой части до 16% по листве), но существенно различаются по потокам (отклонение от 13% по разложению опада до 28% по приросту фитомассы и 24% по опаду и NPP).
5. Получены следующие показатели продуктивности ОЛМ (т С га''год' ■): GPP =8.82, NPP = 4.41, NEP = 1.97, NBP =1.83, TER =6.85. Повышенная величина NEP объясняется наличием средневозрастных и приспевающих древостоев. Но величина NEP, возможно, преувеличена, a TER

преуменьшена вследствие недостаточно точного учета почвенного дыхания.

1. КПД ФАР по приросту древесины за период 1992-2005 гг. равен (%):
2. 18 (при учете поступления ФАР за год), 0.23 (за период с t > 5° С) и 0.28 (за период с t > 10° С).
3. Газовую функцию можно оценить различными методами, по наиболее объективен метод расчета NEP. В приросте стволовой древесины

учитывается лишь около 30% поглощаемого углерода, a NPP

преувеличивает поглощение более, чем в два раза.

1. Изучение круговорота углерода в лесных экосистемах остается трудным и дорогим. Косвенная оценка баланса углерода на основе лесной инвентаризации и привлеченных опубликованных данных может быть источником информации. Однако необходимо иметь в виду, что лесная инвентаризация традиционно проводится для получения сведений прежде всего о древесном запасе. Но леса имеют разнообразные функции и играют значительную роль в обществе и поэтому нуждаются в более детальном изучении. Дополнительная информация может быть получена и сопровождать обязательные сведения по освоению лесных ресурсов для их разносторонней оценки, в том числе их роли как стока углерода из атмосферы. Наиболее трудно получить сведение по запасу углерода в корнях, древесном детрите, подстилке и почве. Но в настоящее время накоплено достаточно знание, чтобы оценить, если необходимо, основные пулы и потоки углерода в каждом лесном массиве. Точность оценки невысока, если не использовать результаты непосредственных полевых работ, потому что исследователи выделяют не только разные пулы и потоки, но и разные методы их измерения и расчетов.

Литература

1. Алексеев В.А., Бердси Р.А. Углерод в экосистемах лесов и болот России. Красноярск. 1994. 232 с.
2. Алексеев В.А. Световой режим леса. Ленинград: Наука, 1975. 224 с.
3. Алексеев А.С., Трейфелд Р.Ф. Балансовая модель процесса накопления и разложения крупного древесного детрита в лесных экосистемах (на примере лесных экосистем Ленинградской области)// Динамика запасов углерода в лесах Северо-запада: Экология, экономика и политика. Материал Международной научно-технической конференции. / Под ред. С.Е. Грязнова, СПб.: СПбЛТА, 2003. С. 36-41.
4. Антанайтис В.В., Загреев В.В. Прирост леса. Издательство "Лесная промышленность", 1969.240 с.
5. Андреева Е. Н., Баккал И. Ю., Горшков В.В. и др. Методы изучения лесных сообществ. СПб.: НИИХимии СПбГУ, 2002. 240 с.
6. Архипов В.И. , Трейфельд Р.Ф., Артемьев А.П., Мыслина Л.П. Проект организации и ведения лесного хозяйства Охтинского учебно-опытного лесхоза Санкт-Петербургской государственной лесотехнической академии им С.М. Кирова. СПб., 2005. - 132 с.