

Ф 53

На правах рукописи



Филиппов Алексей Валерьевич

Оценка запасов углерода в фитомассе березняков Северной Евразии и их география

Специальности 06. 03. 02. – лесоустройство и лесная таксация;
06.03.03 – лесоведение, лесоводство; лесные пожары и борьба с ними

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Екатеринбург 2005

Работа выполнена в Уральском государственном лесотехническом университете.

Научные руководители - доктор сельскохозяйственных наук профессор В. А. Усольцев;
доктор сельскохозяйственных наук профессор С.В. Залесов


Официальные оппоненты - доктор биологических наук профессор А.К. Махнев,
кандидат сельскохозяйственных наук доцент Н.А. Кряжевских

Ведущая организация - Тюменская лесная опытная станция ВНИИЛМ

Защита состоится 27 октября 2005 г. в 10.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.281.01 при Уральском государственном лесотехническом университете по адресу: 620100, Екатеринбург, Сибирский тракт, 36.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Уральского государственного лесотехнического университета.

Автореферат разослан 12 сентября 2005 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
доктор сельскохозяйственных наук профессор  Л. И. Аткина

Введение. Общая характеристика работы.

Актуальность темы.

Эффективность фотосинтеза лесов (0,33 %) намного выше по сравнению с агроценозами (0,25 %) и травянистой растительностью (0,1 %) (Агесс, 1982). Поэтому Международной Конвенцией ООН по климату, принятой в 1992 г., предусмотрено максимально облесить земли, неудобные для других видов пользования. Наряду с облесением предполагается замена ископаемого топлива "энергетической" древесиной путем переключения энергетики на активный углеродный цикл. Данная проблема экономическая: по оценкам английских специалистов стоимость 1 кВт/ч составляет 1,5—2,0 пенса, а "энергетические" плантации становятся рентабельными при его цене 3—5 пенсов (Holdgate, 1995).

Новую экономическую значимость приобретает биосферная роль лесов в целом, предстоит смена приоритетов в системе кадастровой оценки лесных земель. При необходимости компенсации антропогенных выбросов CO₂ получает стоимостную оценку каждая тонна депонируемого лесной растительностью углерода. Эти оценки существенно варьируют в разных странах и составляют от 550 до более 1100 американских долларов (Кондратьев, 2003).

В этой связи мировое научное сообщество проявляет повышенный интерес к изучению биологической продуктивности и углерододепонирующей способности лесов, что необходимо для оценки их роли в глобальных экологических циклах. Реализации этой задачи на примере естественных березовых лесов Северной Евразии посвящена настоящая работа.

Исследования проводились в 2002-2004 гг. в рамках проектов «Оценка запасов углерода и углеродно-кислородного бюджета в лесных экосистемах Уральского региона» и «Картирование углерододепонирующей емкости лесных экосистем Уральского региона», гранты РФФИ №№ 01-04-96424 и 04-05-96083 (руководитель проектов - профессор Усольцев В. А.).

Цель и задачи исследования. Цель диссертационной работы - изучение структуры органического углерода, депонируемого в фитомассе березовых насаждений, на двух уровнях - локальном и глобальном. В первом случае ставилась цель оценки распределения углерода в фитомассе березняков семенного и порослевого происхождения в условиях колочных лесов, а во втором - анализировались географические особенности распределения по регионам Северной Евразии запасов углерода в фитомассе березняков, полученных: (а) по материалам сформированной базы данных, (б) по таблицам хода роста березняков по запасу углерода и (в) по предельным (по условию самоизреживания) густотным траекториям.

В связи с поставленной целью конкретными задачами исследования были:

Научная библиотека
УГЛТУ
Екатеринбург

- изучить особенности структуры органического углерода, депонируемого в фитомассе березняков семенного и порослевого происхождения в условиях колочных лесов;
- на основе привлеченных и собственных экспериментальных данных о фитомассе березовых древостоев выявить зональные и провинциальные закономерности распределения запаса углерода в них;
- составить таблицы хода роста березняков по содержанию углерода в их фитомассе по регионам Северной Евразии и установить географические закономерности его распределения;
- выявить зональные и провинциальные закономерности изменения предельных запасов углерода в фитомассе березовых древостоев.

Научная новизна. Впервые выполнена сравнительная оценка березняков семенного и порослевого происхождения по содержанию углерода в их фитомассе в условиях колочных лесов лесостепной зоны. Собрана наиболее полная коллекция экспериментальных данных о запасах углерода в фитомассе березовых насаждений Северной Евразии, существенно превышающая объем всех известных сводок подобных данных. Это позволило впервые для березняков разработать систему универсальных региональных моделей для оценки запасов углерода в фитомассе и проанализировать на их основе географические закономерности распределения запасов углерода: а) полученных непосредственно по материалам пробных площадей, б) взятых из составленных таблиц хода роста естественных березняков по содержанию углерода в их фитомассе и в) рассчитанных по предельным густотным траекториям.

Практическая значимость работы состоит в разработке нормативных материалов, необходимых при расчетах углеродного бюджета лесных экосистем Северной Евразии, при реализации систем лесохозяйственных мероприятий, направленных на повышение продуктивности и комплексного освоения березовых насаждений Северной Евразии. Результаты работы могут быть полезны при разработке лесного кадастра, осуществлении лесного мониторинга и экологических программ разного уровня.

Разработанные нормативы используются Свердловской лесоустроительной экспедицией (имеется справка о внедрении) при устройстве березовых лесов.

Обоснованность выводов и предложений. Использование обширного экспериментального материала и современных методов статистического анализа, системный подход при содержательном анализе фактических материалов и интерпретации полученных результатов, реализация поставленных задач на уровне многофакторных регрессионных моделей, использование современной вычислительной техники и адекватных компьютерных программ определяют обоснованность приведенных в диссертации выводов и предложений.

Личное участие автора. Все виды работ по теме диссертации от сбора экспериментального материала до анализа и обработки полученных результатов осуществлены автором или при его непосредственном участии.

Апробация работы. Основные результаты исследований изложены на Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные проблемы развития лесного комплекса», Вологда, 2003; 2-й Международной научно-практической конференции «Экология: образование, наука, промышленность и здоровье», Белгород, 2004; на 5-й Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы лесного комплекса», Брянск, 2004; на Международной научно-практической конференции «Лесной комплекс: состояние и перспективы развития», Брянск, 2004; на Международной научно-технической конференции «Современная наука и образование в решении проблем экономики Европейского Севера», Архангельск, 2004.

Публикации. Основное содержание диссертации изложено в 8 печатных работах.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 132 страницах машинописного текста, состоит из введения, 7 глав, заключения и 4 приложений. Список использованной литературы включает 250 наименований, в том числе 48 иностранных. Текст иллюстрирован 19 таблицами и 45 рисунками.

ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ.

Мелколиственные леса занимают обширные площади Евразии. Они достаточно разнообразны, поскольку произрастают в различных природных условиях, слагаются разными видами и имеют неодинаковое происхождение.

Род *Betula* L. относится к семейству *Betulaceae* С.А. Agardh. и включает в себя около 120 видов, из которых в России произрастает почти 40 видов. Береза - это однодомное листопадное дерево высотой до 45 м и диаметром ствола до 1,5 м либо кустарник разного размера, вплоть до стелющихся форм. Кора обычно гладкая, отслаивающаяся тонкими пластинками, чаще всего белая, желтоватая или розоватая, у некоторых видов серая, коричневая или черная (Деревья..., 1951). В лесах с господством листовенных пород в России березой занято 60 % площадей. Многие виды легко заселяют пустующие земли, являясь пионерами на пожарищах, обнажениях и т. д., образуя иногда чистые насаждения.

На территории России наиболее распространены: из секции *Albae* Rgl. березы повислая (*B. pendula* Roth.), пушистая (*B. pubescens* Ehrh.), извилистая (*B. tortuosa* Ldb.), плосколистная (*B. platyphylla* Suk.), Каяндера (*B. cajanderi* Suk.), из секции *Costatae* Rgl. березы каменная (*B. ermani* Cham.), даурская, или черная (*B. dahurica* Pall.), ребристая (*B. costata*

Trautv.), железная (*B. schmidtii* Rgl.) и из секции *Nanae* Rgl. березы карликовая (*B. nana* L.), тощая (*B. exilis* Suk.) и Миддендорфа (*B. middendorffii* Trautv. et Mey). Первые два вида во многих отношениях схожи и были объединены Линнеем в один вид – *B. alba* L. (Ткаченко и др., 1939).

Береза карликовая на обширных пространствах Европейской России, Западной и Средней Сибири от тундр до хвойно-широколиственных лесов формирует ерниковые заросли высотой до 2,5 м. Одно из немногочисленных исследований ее биологической продуктивности в условиях Центральной Якутии выполнено А. А. Анискиной (1986).

В подзонах хвойно-широколиственных и южнотаежных лесов европейской России широко распространена береза повислая. Здесь по заболоченным местам, а также в северной тайге она замещается березой пушистой с разреженным кустарниковым и травяным ярусом. Главные причины возникновения и распространения березы в названных подзонах – пожары в хвойных лесах и сплошные рубки. Существующие в настоящее время в северной тайге спелые березняки появились в результате пожаров первых десятилетий двадцатого столетия. За последние 40 лет в целом по таежной зоне европейской России после пожаров и рубок в ельниках произошла смена ели на березу и осину на 65 % и только на березу – на 55 % площади, а в сосняках смены пород нет (Исаченко, Лукичева, 1956; Чупров, 1986).

На Урале производные мелколиственные, в основном березовые леса представлены березами повислой и пушистой и составляют около половины лесопокрываемой площади. Около трети вырубляемых площадей хвойных лесов Среднего Урала возобновляется главным образом березой, и площади таких березняков постоянно растут. Как и в европейской тайге, доля березы в лесопокрываемой площади здесь увеличивается по мере продвижения с севера на юг (Луганский, Лысов, 1991). Профиль продуктивности березняков по Уральскому меридиану между 53° 10' с. ш. и 66° 30' с. ш. представлен следующими показателями: в подзонах сухой степи, лесостепи, южной, средней и северной тайги средняя высота березняков VI класса возраста составила соответственно 17, 19, 18, 15 и 7 м, а запасы – 174, 213, 209, 129 и 38 м³/га (Усольцев и др., 2001). Наибольшей продуктивностью отличаются березняки лесостепной зоны, к северу и югу от которой она закономерно снижается. Продуктивность берез повислой и пушистой в пределах Урало-Тургайского региона дифференцируется также по их формам, выделенным по типу коры (Махнев, 1965, 1986; Данченко, 1989; Галеев, 2000; Коновалов, 2003).

В Западной Сибири из древовидных берез секции *Albae* наибольшую площадь занимает береза пушистая, затем следует береза Крылова (*B. krylovii* G. Kryl.), на третьем месте стоит береза повислая и менее всего представлены березы Кузмищева (*B. kusmisscheffii* (Rgl.) Suk.) и извилистая (*B. tortuosa*). Береза Крылова в южнотаежной подзоне Западной Сибири

представляет коренной тип леса высокой производительности (I-II классы бонитета) (Г. Крылов, А. Крылов, 1969).

На юге Западно-Сибирской низменности и Средней Сибири коренные березняки представляют собой зональное явление, замещающее зоны широколиственных и хвойно-широколиственных лесов к востоку от Урала. В лесостепной, а затем в степной зонах леса распадаются на все более мелкие массивы (колки), расположенные на солодах в округлых блюдцеобразных или плоских западинах, возникших в результате оседания грунта под действием выщелачивания и вымывания почвообразующих пород (Исаченко, Лукичева, 1956; Глумов, 1960; Грибанов и др., 1970).

Таким образом, род *Betula* занимает обширные территории Северной Евразии в составе главным образом производных формаций. Виды березы обладают широкой экологической амплитудой, что позволяет им успешно расти в таких местообитаниях, где другие виды расти не могут. Березы пушистая и повислая являются важнейшими лесообразующими породами и вместе с другими видами рода *Betula* занимают 14 % лесопокрываемой площади России и 60 % площади лиственных пород.

Продуктивность модальных порослевых березняков Западной Сибири и Северного Казахстана в возрасте спелости (50 лет) снижается по зональному градиенту и характеризуется в подзоне умеренно-засушливой степи запасом 155 м³/га; в подзоне засушливой степи – 103 м³/га и еще южнее, в подзоне сухой степи – 91 м³/га (Данченко и др., 1991). Продуктивность нормальных порослевых березняков в возрасте спелости существенно выше и составляет в условиях колочной лесостепи (Курганская область) в древостоях I, II и III классов бонитета соответственно 250, 209 и 171 м³/га (Бобко, 1969).

Сравнительные исследования биологической продуктивности березы в связи с происхождением древостоев практически отсутствуют. Изучение биопроductивности березняков началось в 1950-е годы, причем вначале исследователей интересовала лишь масса листвы (Данилов, 1956; Попов, 1969; Данилов, Чмыр, 1981).

Определению полного фракционного состава надземной фитомассы посвящено много работ, однако масса корней определялась сравнительно редко, причем иногда без учета тонкой фракции (Паршевников, 1962; Поликарпов, 1962; Манаков, 1967; Поздняков, 1967; Ильюшенко, 1968; Таранков и др., 1970; Дюкарев, 1970; Чепурко, 1971; Кучко, Матюшкин, 1971, 1974; Смирнов, 1961, 1971; Молчанов, 1971, 1974; Макаренко, Луганский, 1973; Токмурзин, Байзаков, 1973; Колодченко, 1974; Митрофанов, 1977, 1978, 1983; Казимиров с соавт., 1978; Уткин с соавт., 1984; Ильяшенко, 1984; Спицына, 1990, 1996; Грибов, 1997; Lakida et al., 1995; Усольцев, 1997, 1998).

В последние годы расчеты углерододепонирующей емкости лесных экосистем выполняются на основе совмещения фактических данных о

запасах углерода с материалами лесоустройства (Макаревский, 1991; Исаев и др. 1993, 1997; Алексеев, Бердси, 1994; Швиденко и др., 2000; Цветков, Сурина, 2003; Усольцев и др., 2003; Столбовой и др., 2004).

Дальнейший прогресс в точности оценок запасов углерода может быть обеспечен, в первую очередь, путем создания базы данных о запасах углерода в фитомассе лесов (связанной с приходной частью углеродного цикла) и в детритах и почвах (связанных с расходной частью цикла).

ГЛАВА 2. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНОВ И ОБЪЕКТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проведены на границе Северо-Казахстанской (Казахстан) и Тюменской (Россия) областей в Согровском лесхозе. Территория представляет собой плоскую равнину, со слабым уклоном к северу. Наибольшая абсолютная высота над уровнем моря у южной границы – 200 м, у северной – 130 м. Приведена краткая природная характеристика района исследования, описаны климат, рельеф и почвы, дана характеристика лесного фонда.

Для оценки запасов углерода в надземной фитомассе в чистых естественных березняках семенного и порослевого происхождения на территории Согровского лесхоза заложены соответственно 4 и 5 пробных площадей (табл. 1) в типе леса березняк свежий злаковый (Демидовская, 1958), которые приурочены к пологим склонам западин. Классы бонитета определены по двум разным бонитетным шкалам М.М. Орлова - для семенных и порослевых древостоев.

Таблица 1

Таксационная характеристика пробных площадей, заложенных в подзоне колючей лесостепи Западно-Сибирской низменности

№ пробы	Возраст, лет	Средние		Густота, экз./га	Сумма площадей сечений, м ² /га	Запас, м ³ /га	Класс бонитета
		диаметр, см	высота, м				
Древостой семенного происхождения							
1с	10	1,8	5,6	32110	8,1	30,4	Ia
2с	27	7,5	9,8	4340	19,0	95,0	I
3с	32	7,7	10,0	4111	19,2	102,0	II
4с	35	6,2	11,7	3890	11,9	73,6	II
Древостой порослевого происхождения							
1п	6	2,0	3,1	8610	2,82	6,8	II-III
2п	10	3,2	5,5	7560	6,27	23,6	II
3п	15	5,0	6,9	6932	13,8	56,2	II
4п	17	5,2	7,0	6724	14,3	56,8	III
5п	35	8,6	11,9	2873	16,8	110,2	III

Подобраны наиболее характерные, типичные для подзоны колючей лесостепи участки. Модельные деревья взяты в количестве 10 шт. на каждой пробной площади, в пределах всего диапазона ступеней толщины. Получены данные о запасах углерода в структуре надземной фитомассы 90 модельных деревьев, соответственно – 40 в семенных и 50 – в порослевых березняках в возрасте от 6 до 35 лет.

В работе предпринята попытка собрать накопленную в многочисленных литературных и других источниках информацию о фактических запасах углерода в фитомассе и сформировать для этого соответствующую базу данных для березовых насаждений, произрастающих в пределах всей лесной зоны Северной Евразии.

Составленная база данных о запасах углерода в фитомассе березняков включает в себя 476 определений, которые позаимствованы из 130 литературных источников и сопровождаются полной таксационной и частично лесотипологической характеристиками пробных площадей.

Исходный массив данных включает в себя экспериментальные показатели запасов углерода по фракциям фитомассы (ствол, ветви, хвоя, корни, нижние ярусы) и запаса ствольной древесины, а также – основные массообразующие показатели и состоит из 452 определений для *B. pendula* и *B. pubescens*, (провинции Средне-Европейская, Скандинавско-Русская, Восток Русской равнины, Уральская, Западно-Сибирская, Средне-Сибирская, Восточно-Сибирская, Дальний Восток (Приморье), Забайкальская, Алтае-Саянская, Кавказско-Малоазиатская); 6 – для *B. tortuosa* (лесотундра Востока Русской равнины и средняя тайга Восточно-Сибирской провинции), а также по 1-3 определений для *B. kusmisscheffii* (северная тайга Востока Русской равнины), *B. ertmani* (северная тайга Дальнего Востока, южная тайга Забайкалья и Япония), *B. platyphylla* (средняя тайга Дальнего Востока и Япония), *B. costata* (Дальний Восток, Приморье), *B. taximowicziana* и *B. grossa* (Япония), *B. gmelini* и *B. lanata* (южная тайга Забайкалья). Подавляющая часть экспериментальных данных (95%) приходится на долю *B. pendula* и *B. pubescens*, анализируемых далее совместно. Экспериментальные данные после нанесения на схему зонально-провинциального деления территории (Базилевич, Родин, 1967; Курнаев, 1973; Смагин и др., 1978) распределились по 29 регионам.

ГЛАВА 3. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Пробные площади закладывались с учетом теоретических положений лесной таксации согласно ОСТ 56-69-83 «Пробные площади лесоустойчивые». На пробных площадях выполняли сплошной перебор деревьев по ступеням толщины без выделения подчиненной части, а после перебора у 15-20 растущих деревьев при помощи высотомера измеряли высоты. По этим данным строили графики высот деревьев в зависимости от диа-

метров, которые использовались для определения средней высоты древостоя элемента леса.

Систематическую выборку модельных деревьев формировали в соответствии с рядом распределения деревьев по диаметру. Модельные деревья отбирались средними по диаметру, высоте и размерам кроны для ступени толщины в пределах всего диапазона варьирования их диаметров на площади.

Модельные деревья брали в августе месяце после полного формирования листвы. После рубки измерялись длина дерева, протяженность бесчучковой части, диаметр ствола у основания кроны. Ствол делили на 10 секций равной длины. На середине секций и на высоте груди определяли диаметры ствола в коре и без коры. Возраст устанавливался по числу годичных слоев на пне. После обрубки крону взвешивали с точностью 50 г на весах грузоподъемностью 10-20 кг. Затем секаторами отделяли древесную зелень – облиственные побеги толщиной 0,4-0,8 см и оставшийся скелет кроны вновь взвешивали.

Доля листвы в древесной зелени определялась по навескам, взятым в средней части кроны, и по ней рассчитывалась масса листвы всего дерева. Масса листвы и скелета кроны переводилась на абсолютно сухое состояние термо-весовым методом по взятым навескам. Путем обмера диаметров в коре и без коры по 10 сечениям ствола рассчитаны объемы древесины и коры ствола и по базисной плотности – их масса.

Показатели фитомассы в абсолютно сухом состоянии пересчитывались на углерод по известным, достаточно стабильным конверсионным коэффициентам: 0,45 для листвы и 0,5 для остальных компонентов (Кобак, 1988). Экспериментальные значения запаса углерода в фитомассе на пробных площадях в расчете на 1 га (C_b , т/га) определены регрессионным методом.

ГЛАВА 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАПАСА УГЛЕРОДА В НАДЗЕМНОЙ ФИТОМАССЕ БЕРЕЗОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ СЕМЕННОГО И ПОРОСЛЕВОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В КОЛОЧНОЙ ЛЕСОСТЕПИ

Для многих целей, в частности, при составлении таблиц хода роста (ТХР) древостоев по их фитомассе на базе традиционных ТХР (Cantiani, 1974; Hellrigl, 1974; Макаренко, Маленко, 1984; Усольцев и др., 1995; Usoltsev, Hoffmann, 1997; Лакида, 2002), а также при инвентаризации запасов фитомассы и углерода на лесопокрытых площадях (Вонног, 1985; Penner, 1997; Wirth et al., 2004), необходимы универсальные, обычно многофакторные, зависимости и соответствующие таблицы запасов углерода в фитомассе на уровне отдельных деревьев. Вследствие их многофакторной обусловленности подобные уравнения и таблицы должны включать несколько массоопределяющих переменных.

Наиболее часто применяется двухфакторная зависимость (Токмурзин, Байзаков, 1970; Усольцев, Усольцева, 1977.; Семечкина, 1978; Биологическая продуктивность..., 1982; Baker et al., 1984)

$$P_i = f(H, D) \quad (1)$$

$$\text{или } \ln P_i = a_0 + a_1 \ln H + a_2 \ln D + a_3 \ln H \ln D, \quad (2)$$

где P_i – масса фракции дерева (ствол, листва, ветви) в абсолютно сухом состоянии, кг; H и D – соответственно его высота (м) и диаметр на высоте груди (см); \ln – обозначение натурального логарифма. Зависимости (1) и (2) иногда дополняются некоторыми таксационными характеристиками насаждения в целом (Усольцев, 1985; Казимиров, Митруков, 1978; Лакида, 2002). При оценке фитомассы дерева, особенно его кроны, часто бывает значимым также возраст дерева, который вводится в (1) и (2) в качестве третьего массоопределяющего фактора (A , лет).

С целью выяснить возможности оценки массы углерода в фракционном составе фитомассы дерева по трем наиболее легко определяемым его показателям (H , D и A) а также выявить степень достоверности различий в названном составе у берез семенного и порослевого происхождения при одних и тех же значениях определяющих показателей с помощью бинарной переменной X , по совокупности 90 определений углерода в фитомассе рассчитаны регрессионные уравнения:

$$\ln C_s = a_0 + a_1 \ln D + a_2 \ln H + a_3 (\ln D \ln H) + a_4 \ln A + a_5 (\ln A)X + a_6 X, \quad (3)$$

$$\ln C_f = a_0 + a_1 \ln D + a_2 \ln H + a_3 (\ln D \ln H) + a_4 \ln A + a_5 (\ln A)X + a_6 X, \quad (4)$$

$$\ln C_b = a_0 + a_1 \ln D + a_2 \ln H + a_3 (\ln D \ln H) + a_4 \ln C_f + a_5 (\ln A)X, \quad (5)$$

где C_s , C_f и C_b – масса углерода соответственно в стволе, листве и ветвях, кг; X – бинарная переменная, равная 0 для семенных и 1 – для порослевых березняков.

Необходимость введения в модели произведения $(\ln D \ln H)$ обусловлена тем, что по мере уменьшения высоты дерева точка замера диаметра на высоте груди смещается в верхнюю часть ствола и поэтому линии наклона регрессии у деревьев разной величины различаются. Произведение $(\ln D \ln H)$ учитывает это изменение угла наклона.

Введение произведения $(\ln A)X$ вызвано тем, что наклон линии регрессии, характеризующей связь массы углерода с возрастом дерева, у деревьев семенного и порослевого происхождения различный. Произведение $(\ln A)X$ учитывает это изменение угла наклона.

Все константы в (3)-(5) оказались статистически значимыми на уровне t_{05} . Это означает, что при одних и тех же значениях высоты, диаметра и возраста дерева запасы углерода во всех фракциях надземной фитомассы на статистически достоверном уровне зависят от происхождения древостоя – семенного либо порослевого. Значения констант уравнений (4.3), (4.4) и (4.5) приведены в таблице 2, которая свидетельствует о высокой степени адекватности уравнений.

Характеристика уравнений (3)-(5)

Зависимая переменная	Константы и независимые переменные								R ²
	a ₀	a ₁ lnD	a ₂ lnH	a ₃ (lnDlnH)	a ₄ lnA	a ₄ ln Cf	a ₅ (lnA)X	a ₆ X	
ln Cs	-5,656	1,367	0,351	0,210	0,833	-	-0,802	2,674	0,994
ln Cf	-3,088	1,376	-0,490	0,317	-0,394	-	-0,279	0,977	0,941
ln Cb	-0,233	0,671	-0,955	0,296	-	0,700	0,043	-	0,979

Путем последовательного табулирования уравнений (3), (4) и (5) получены таблицы для оценки запаса углерода в фитомассе деревьев по двум входам – диаметру и высоте ствола – для трех возрастов, отдельно для семенных и порослевых березняков, фрагменты которых для возраста 20 лет представлены в табл. 3 и 4.

Составленные таблицы свидетельствуют о том, что разные фракции фитомассы изменяют содержание углерода в связи с массообразующими факторами в разной степени. Если названный показатель для ствола при условии равенства его линейных размеров увеличивается с возрастом, то для ветвей и ствола – снижается. Это обусловлено тем, что при переходе дерева одного и того же размера из нижнего класса возраста в высший смещается его ранговое положение в пологе, т.е. I класс Крафта заменяется V классом и соответственно статус лидера сменяется на статус кандидата на отмирание вследствие естественного изреживания. Поэтому у угнетенных деревьев возрастает полндревесность ствола (за счет отставания в развитии кроны), и, напротив, снижается масса кроны.

Различие семенных и порослевых березняков по запасу углерода в деревьях дифференцировано по фракционному составу: к началу IV класса возраста деревья семенного происхождения имеют запас углерода в стволах, больший на 5 % по сравнению с порослевыми стволами, а в листве и ветвях, напротив, меньший соответственно на 3 и 18 %. Это явление согласуется с более плотным стоянием деревьев в семенных березняках – густота последних в возрасте 35 лет больше на 35 % по сравнению с порослевыми березняками (см. табл. 1).

Экспериментальные значения запасов углерода в фитомассе березы на пробных площадях в расчете на 1 га приведены в табл. 5. С целью установить зависимость запасов углерода в насаждениях от их происхождения в условиях колочной лесостепи, данные таблицы 5 подвергнуты статистическому анализу с использованием бинарной переменной X. Для семенных березняков принято значение X = 0, для порослевых X = 1. Поскольку фактические данные запасов углерода получены в возрастном диапазоне с I по IV классы возраста, то вследствие

Таблица 3

Таблица для оценки запаса углерода в надземной фитомассе деревьев (кг) в 20-летних березняках семенного происхождения в зависимости от диаметра ствола и высоты дерева

Высота дерева, м	Диаметр ствола, см				
	2	4	6	8	10
	Стволы				
2	0,154	0,441	0,814	-	-
4	0,218	0,688	1,348	2,171	-
6	-	0,893	1,810	2,989	4,411
8	-	-	2,232	3,750	5,609
	Листва				
2	0,030	0,091	0,174	-	-
4	0,025	0,088	0,184	0,310	-
6	-	0,086	0,190	0,332	0,513
8	-	-	0,194	0,349	0,549
	Ветви				
2	0,065	0,258	0,579	-	-
4	0,034	0,172	0,448	0,881	-
6	-	0,136	0,385	0,806	1,427
8	-	-	0,346	0,756	1,385

Таблица 4

Таблица для оценки запаса углерода в надземной фитомассе деревьев (кг) в 20-летних березняках порослевого происхождения в зависимости от диаметра ствола и высоты дерева

Высота дерева, м	Диаметр ствола, см				
	2	4	6	8	10
	Стволы				
2	0,203	0,579	1,069	-	-
4	0,286	0,904	1,771	2,853	-
6	-	1,173	2,378	3,927	5,795
8	-	-	2,932	4,927	7,369
	Листья				
2	0,035	0,105	0,201	-	-
4	0,029	0,101	0,212	0,357	-
6	-	0,099	0,219	0,383	0,591
8	-	-	0,224	0,402	0,633
	Ветви				
2	0,081	0,323	0,726	-	-
4	0,042	0,216	0,562	1,105	-
6	-	0,171	0,483	1,010	1,790
8	-	-	0,435	0,948	1,737

Электронный архив УГПТУ

Таблица 5

Фактические показатели фракционной структуры органического углерода в надземной фитомассе березняков семенного и порослевого происхождения на пробных площадях

№ пробы	Возраст, лет	Средние		Число стволов, тыс. экз/га	Запас, м ³ /га	Запас углерода, т/га				
		Диаметр, см	Высота, м			Стволы в коре	Кора ствола	Ветви	Листья	Итого
Древостой семенного происхождения										
1с	10	1,8	5,6	32,11	30,4	7,6	1,24	2,10	1,49	11,2
2с	27	7,5	9,8	4,34	95,0	24,7	5,03	2,60	0,90	28,2
3с	32	7,7	10,0	4,11	102,0	26,0	5,87	2,76	1,37	30,1
4с	35	6,2	11,7	3,89	73,6	19,2	3,12	2,48	1,21	22,9
Древостой порослевого происхождения										
1п	6	2,0	3,1	8,61	6,8	1,65	0,38	0,70	0,49	2,84
2п	10	3,2	5,5	7,56	23,6	6,14	1,45	1,60	0,94	8,68
3п	15	5,0	6,9	6,93	56,2	14,3	2,54	1,87	1,22	17,4
4п	17	5,2	7,0	6,72	56,8	14,8	2,84	3,44	1,81	20,1
5п	35	8,6	11,9	2,87	110,2	28,7	6,38	4,64	1,21	34,6

возрастного накопления запасов углерода сопоставление березняков разного происхождения выполнено не на уровне соответствующих совокупностей экспериментальных данных, а на уровне уравнений парной связи запаса углерода с возрастом (табл. 6):

$$C_i = a_0 + a_1 A + a_2 X, \quad (6)$$

где C_i – запас углерода в фитомассе i -й фракции (стволов, листья и ветвей), т/га; A – возраст, лет; X – бинарная переменная, характеризующая происхождение древостоев – семенное или порослевое. R^2 – коэффициент детерминации; SE – ошибка уравнения.

Таблица 6

Характеристика уравнений (6)

Зависимая переменная - ln запаса углерода в фитомассе	Константы			R^2	SE
	a_0	a_1	a_2		
стволов	-4,076	1,635	2,789	0,875	7,78
листья	1,568	0,015	-0,099	0,057	0,95
ветвей	-0,223	0,175	1,560	0,615	1,61

Установлена статистически достоверная связь запаса углерода с возрастом лишь в стволах (критерий Стьюдента $t = 6,0 > 2,0$) и ветвях ($t = 3,1 > 2,0$), а для листвы названная связь не достоверна ($t = 0,5 < 2,0$). Константа при бинарной переменной X недостоверна во всех трех случаях ($t = 0,14 \div 1,29 < 2,0$). Это означает, что при выбранном способе сравнения березняков по происхождению и соответствующей структуре уравнений (4.6) запасы углерода в фитомассе всех фракций не зависят от происхождения березняков.

При выборе структуры зависимости (6) предполагалась линейная связь запасов углерода с возрастом, тогда как в действительности эта связь всегда нелинейная. Поэтому на втором этапе сопоставление березняков по происхождению выполнено посредством уравнений:

$$\ln C_i = a_0 + a_1 \ln A + a_2 (\ln A)^2 + a_3 X, \quad (7)$$

характеристика которых приведена в таблице 7.

В результате применения более адекватной структуры уравнения коэффициенты детерминации в (7) повысились, тем не менее и при данной структуре уравнений запасы углерода в фитомассе всех фракций не зависят от происхождения березняков, поскольку константа при бинарной переменной X недостоверна во всех трех случаях ($t = 0,05 \div 0,67 < 2,0$).

Таблица 7

Характеристика уравнений (7)

Зависимая переменная - ln запаса углерода в фи- томассе	Константы				R^2	SE
	a_0	a_1	a_2	a_3		
стволов	-8,162	6,532	-0,939	-0,0057	0,981	0,16
листвы	-6,531	4,784	-0,820	-0,0662	0,672	0,27
ветвей	-5,763	4,060	-0,602	0,1462	0,813	0,29

Отсутствие статистической достоверности различий семенных и порослевых березняков по запасу углерода может быть следствием того, что в структуре (6) и (7) учтен только возраст, в то время как продуктивность насаждения определяется также особенностями его морфоструктуры, а именно – средними диаметром и высотой стволов и густотой древостоя.

Поэтому на третьем этапе сопоставление выполнено посредством рекурсивного совмещения двух совокупностей уравнений, одна из которых рассчитана для морфоструктурных характеристик (S_i):

$$\ln S_i = a_0 + a_1 \ln A + a_2 (\ln A)^2 + a_3 X (\ln A) + a_4 X, \quad (8)$$

где S_i – одна из морфоструктурных характеристик древостоев: средний диаметр (D , см), средняя высота (H , м), число стволов на 1 га (N , тыс. экз/га).

Вторая совокупность уравнений рассчитана для запасов углерода:

$$\ln C_i = a_0 + a_1 (\ln A) (\ln N) + a_2 X (\ln N) + a_3 X (\ln A) + a_4 X. \quad (9)$$

С целью учета различий семенных и порослевых березняков по изменению их морфоструктуры и запасов углерода в связи с возрастом и густотой в уравнения (8) и (9) введены соответствующие произведения $X(\ln A)$ и $X(\ln N)$. Константы при всех переменных в уравнениях статистически значимы на уровне t_{05} . Характеристика (8) и (9) дана в табл. 8.

Таблица 8

Характеристика уравнений (8) и (9)

Зависимая переменная	Константы					R^2	SE
	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4		
Уравнение (8)							
lnD	-3,789	2,418	-0,217	-0,413	1,542	0,965	0,15
lnH	-0,395	1,157	-0,104	0,141	-0,430	0,984	0,08
lnN	5,081	-	-0,311	1,048	-3,770	0,972	0,15
Уравнение (9)							
ln запаса углерода в массе:							
стволов	4,825	-0,349	2,817	3,348	-14,95	0,981	0,18
листвы	-0,287	0,0865	1,267	1,324	-5,853	0,888	0,18
ветвей	1,281	-0,0668	0,916	1,650	-6,283	0,956	0,18

Таблица 9

Возрастное изменение запасов углерода в надземной фитомассе семенных и порослевых березняков в условиях колочной лесостепи

Возраст, лет	Средний диаметр, см	Средняя высота, м	Густота, тыс. экз/га	Запас углерода, т/га			
				Стволы	Листва	Ветви	Итого
Семенные березняки							
10	1,87	5,57	31,01	7,89	1,49	2,12	11,50
15	3,21	7,22	16,50	8,82	1,45	2,17	12,43
20	4,51	8,49	9,91	11,34	1,36	2,28	14,97
25	5,72	9,51	6,44	15,39	1,26	2,41	19,06
30	6,84	10,36	4,43	21,33	1,16	2,57	25,06
35	7,87	11,08	3,17	29,76	1,07	2,74	33,57
Порослевые березняки							
10	3,38	5,02	7,99	5,87	0,96	1,47	8,29
15	4,90	6,88	6,50	11,56	1,29	2,33	15,18
20	6,11	8,43	5,28	17,36	1,44	3,11	21,91
25	7,07	9,75	4,33	23,06	1,47	3,82	28,35
30	7,84	10,90	3,61	28,66	1,44	4,46	34,56
35	8,46	11,91	3,04	34,20	1,37	5,05	40,62

В результате применения наиболее адекватной структуры уравнения, во-первых, коэффициенты детерминации в (9) существенно повысились по сравнению с (6) и (7) и, во-вторых, запасы углерода в фитомассе всех фракций оказались зависимыми от происхождения березняков. Значимость по Стьюденту константы при бинарной переменной X составила: для стволов $t = 7,8 > 2,0$, для листвы $t = 3,1 > 2,0$ и для ветвей $t = 3,4 > 2,0$.

Путем последовательного табулирования уравнений (4.8) для морфометрических показателей D , H и N , а затем – уравнений (4.9) для фракционного состава по запасам углерода по задаваемым значениям возраста A в диапазоне от 5 до 35 лет и соответствующим расчетным значениям N получены таблицы возрастной динамики запасов углерода в фитомассе березняков семенного и порослевого происхождения в (табл. 9).

Данные табл. 9 дают представление о соотношении запасов углерода в разных фракциях надземной фитомассы семенных и порослевых березняков на разных возрастных этапах. Основное отличие морфоструктуры семенных и порослевых березняков состоит в совершенно разных начальных условиях роста, а именно, в разных типах пространственного распределения деревьев (групповое - у порослевых и случайное – у семенных), меньшей начальной густоте и наличии мощной корневой системы материнского древостоя у порослевых березняков в сравнении с семенными.

Поэтому в I классе возраста бóльшие запасы углерода накапливаются в семенных березняках, а в более высоких классах – напротив, в порослевых, по крайней мере до IV класса возраста, пока порослевой древостой использует материнскую корневую систему.

Глава 5. База данных о запасах углерода в фитомассе березовых насаждений Северной Евразии и их географический анализ

Процесс формирования базы данных о запасах углерода сопровождался ее структуризацией по основным массообразующим показателям. Переводные коэффициенты *углерод фитомассы : запас стволовой древесины*, принятые в европейских странах в расчетах углеродного цикла лесопокрытых площадей, представляют собой фактически случайные величины, поскольку для лесов одних и тех же стран согласно двум разным отчетам – по Рамочной Конвенции ООН по изменению климата и по глобальной оценке лесных ресурсов ФАО ООН – они никак между собой не связаны (Schoene, 2002).

Для обеспечения корректности региональных сопоставлений запасов углерода в фитомассе березняков сравниваются не региональные совокупности фактических данных, а многофакторные регрессионные модели, объясняющие изменчивость переводных коэффициентов *углерод фитомассы : за-*

пас стволовой древесины в пределах региона посредством включенных в них переменных. Предложена структурная форма регрессионной модели для переводных коэффициентов

$$\ln(C_i/M) = f(\ln A, \ln H, \ln D, \ln N), \tag{10}$$

где C_i - запас углерода в фитомассе стволов с корой, коры стволов, скелета ветвей, хвои, корней и нижних ярусов растительности (соответственно C_S , C_{SB} , C_B , C_F , C_R и C_U), т/га; M – запас стволовой древесины, м³/га; A – возраст древостоя, лет; H – средняя высота деревьев, м.

В нашем совместном исследовании (Усольцев и др., 2004) на основе уравнений (10) разработан метод приведения к сопоставимому виду фактических данных о запасах углерода в фитомассе насаждений на пробных площадях с применением так называемых блоковых фиктивных переменных $X_0...X_{28}$ (Дрейпер, Смит, 1973), включаемых в многофакторное оценочное уравнение для запаса углерода в фитомассе наряду с массообразующими независимыми переменными:

$$\ln(C_i/M) \text{ или } \ln C_i = f(X_0, \dots, X_{28}, \ln A, \ln H, \ln D, \ln N, \ln M). \tag{11}$$

Расчет констант уравнений (11) подтверждает их достаточную адекватность фактическим данным ($R^2 = 65-98\%$ с некоторым исключением для корней). Уравнения (11) совмещены с системой (цепочкой) рекурсивных уравнений для массообразующих показателей, в которой исходной независимой переменной является возраст древостоя. Путем табулирования названной цепочки по возрасту и другим массообразующим показателям получены возрастные тренды запаса углерода в березняках, основой которых являются только материалы базы данных.

Основные изменения растительного покрова происходят как в широтном направлении вследствие изменения интенсивности солнечной радиации, так и в меридиональном в результате изменения континентальности климата и условий увлажнения (Волобуев, 1947; Курнаев, 1973; Назимова, 1995).

Для анализа географии распределения запасов углерода в естественных насаждениях березы мы выбрали для провинциального градиента схемы А.А. Борисова и Л.Г. Полозовой, и для зонального – схему С. Тукканена (Tuhkanen, 1984). Исходя из результатов предварительного графического анализа географии запасов углерода в надземной и общей фитомассе, принята следующая структура регрессионных уравнений:

$$\ln C_{abo} \text{ или } \ln C_{tot} = a_0 + a_1 (\ln IC) - a_2 (\ln IC)^2, \tag{12}$$

$$\ln C_{abo} \text{ или } \ln C_{tot} = a_0 + a_1 (\ln IC) - a_2 (\ln IC)^2 + a_3 (\ln T) - a_4 (\ln T)^2, \tag{13}$$

где C_{abo} и C_{tot} – средние значения запасов углерода соответственно в надземной и общей фитомассе березняков в возрасте 55 лет, т/га; IC – индекс континентальности климата, по Ценкеру или Полозовой (%); T – сумма эффективных температур выше +5⁰С за вегетационный период в Северной Ев-

разии. У березы - вида с широким ареалом и экологической амплитудой - связь средних показателей запаса углерода в надземной и общей фитомассе с одним лишь индексом континентальности IC согласно (12) оказалась недостоверной независимо от применяемого индекса континентальности. Но совокупный эффект индекса континентальности IC и суммы эффективных температур T согласно (13) в объяснении изменчивости названного показателя оказался достоверным.

Таким образом, на статистически достоверном уровне установлено, что средние запасы углерода в фитомассе естественных березняков снижаются в направлении с юга на север и от атлантического и тихоокеанского побережий - к полюсу континентальности.

Глава 6. Составление таблиц хода роста березовых насаждений по запасу углерода в их фитомассе по регионам Северной Евразии

Таблицы хода роста (ТХР) древостоев остаются одним из основных вспомогательных средств при оценке продуктивности лесных насаждений. Традиционные ТХР нормальных и модальных древостоев березы взяты нами за основу при составлении таблиц хода роста по запасам углерода (ТХРУ) в фитомассе естественных нормальных и модальных березняков для всей лесной зоны Северной Евразии. Составление их выполнено путем совмещения ТХР с регрессионными моделями (11) при соответствующих значениях блоковых фиктивных переменных. Это совмещение представляет собой табуляцию моделей по значениям A , N , H , D и M упомянутых ТХР. В результате получены 64 ТХРУ, которые подразделены на две категории. В первую категорию вошли ТХРУ нормальных (сомкнутых), а во вторую - ТХРУ модальных древостоев. В каждой из названных категорий таблиц выделяются два уровня: сравнительно лучших (I) и сравнительно худших (II) условий произрастания.

Названные показатели запаса углерода в надземной (C_{abo} , т/га) и общей ($C_{ioв}$, т/га) фитомассе березняков проанализированы в связи с индексами континентальности климата (IC) согласно уравнению

$$C_{abo} \text{ или } C_{ioв} = a_0 + a_1 (IC) \quad (14)$$

Несмотря на относительно низкие значения коэффициентов детерминации ($R^2 = 0,241 \div 0,532$), коэффициенты a_1 регрессий (14) статистически значимы на уровне t_{05} . Таким образом, закономерность снижения запасов углерода в березняках по мере возрастания континентальности климата в направлении от морских побережий к полюсу континентальности в Сибири является общей для показателей, рассчитанных как по материалам базы данных, так и по соответствующим ТХРУ.

На каждом возрастном этапе имеется определенный биологический предел густоты древостоя, выше которого древостой как лесной фитоценоз существовать не может (Лосицкий, Чуенков, 1980). Разработан метод расчета соответствующих предельных траекторий продуктивности древостоев на основе регрессионных цепочек рекурсивных уравнений (Усольцев, 2003). Поскольку на сегодня региональные оценки углерододепонирующей емкости насаждений варьируют в очень широких диапазонах, подобные траектории дают придержки верхних пределов продуктивности по условию самоизреживания древостоев.

Наше исследование региональных закономерностей изменения предельных показателей запасов углерода в фитомассе березняков выполнено в несколько этапов. На первом этапе рассчитаны траектории изменения высоты среднего дерева (H_{lim} , м), максимальной для каждого класса возраста, и в пределах последнего - максимальной для каждой градации густоты, согласно уравнению:

$$\ln H_{lim} = f [X_0, \dots, X_{28}, \ln A, (\ln A)^2, \ln N, (\ln N)^2, (\ln A)(\ln N)], \quad (15)$$

которое объясняет 96 % изменчивости максимальных значений высоты среднего дерева древостоев.

Далее для анализа полученных исходных данных применительно к расчету траекторий максимальных значений D_{lim} все экспериментальные данные 476 пробных площадей, сгруппированные по регионам, распределены в трехвходовые (по A , N и H) матрицы, и рассчитана зависимость:

$$\ln D_{lim} = f [X_0, \dots, X_{28}, \ln A, \ln N, \ln H]; \quad R^2 = 0,970. \quad (16)$$

Аналогичным образом получено уравнение для запаса стволовой древесины M (м³/га):

$$\ln M_{lim} = f [X_0, \dots, X_{28}, \ln D, \ln N, \ln H]; \quad R^2 = 0,931. \quad (17)$$

В результате последовательного табулирования рекурсивной системы уравнений (15), (16), (17) и (11) получены соответствующие иерархии результирующих предельных траекторий для запаса углерода в фитомассе березняков.

Правые ветви колоколообразных густотных кривых по каждому из масообразующих показателей и показателей фракционной структуры углерода в фитомассе пересекаются, и точки пересечения формируют предельные линии самоизреживания по каждому из упомянутых показателей в последовательности рекурсивной системы.

Эти предельные значения углерода в фитомассе разных фракций, взятые из названных траекторий для спелых древостоев в диапазоне густот 500-

1000 экз/га, показывают те же закономерности распределения запасов углерода, что и средние значения, снятые с возрастных трендов для возраста 55 лет. Они имеют тенденцию снижения по мере ужесточения климатических условий как в направлении с юга на север, так и в направлении к полюсу континентальности. Связь предельных показателей запаса углерода в надземной и общей фитомассе с одним лишь индексом континентальности IC оказалась слабой. Но совокупный эффект индекса континентальности IC и суммы эффективных температур T в объяснении изменчивости названного показателя в обоих случаях оказался достоверным.

Таким образом, закономерности изменения запасов углерода в надземной и подземной фитомассе по зональному и провинциальному градиентам примерно одинаковые как по предельным показателям, рассчитанным по условию самоизреживания, так и при расчете названных показателей только по данным пробных площадей с приведением последних к сопоставимой форме с помощью регрессионно-рекурсивного моделирования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Установлено, что в условиях лесостепи Западной Сибири при одних и тех же значениях высоты, диаметра и возраста дерева запасы углерода во всех фракциях надземной фитомассы на статистически достоверном уровне зависят от происхождения древостоя – семенного либо порослевого. Рассчитанные трехфакторные (по возрасту, высоте и диаметру ствола) регрессионные модели объясняют изменчивость массы углерода в листве на 94, ветвях – на 98 и стволах – на 99 %.
2. Различие семенных и порослевых березняков по запасу углерода в деревьях дифференцировано по фракционному составу: к началу IV класса возраста дерева семенного происхождения имеют запас углерода в стволах, больший на 5 % по сравнению с порослевыми стволами, а в листве и ветвях, напротив, меньший соответственно на 3 и 18 %. Это явление согласуется с более плотным стоянием деревьев в семенных березняках – густота последних в возрасте 35 лет больше на 35 % по сравнению с порослевыми березняками.
3. Сравнение запасов углерода в хвое, ветвях, стволах березняков семенного и порослевого происхождения с помощью многофакторных уравнений, включающих в качестве независимых переменных возраст и основные морфометрические показатели, выявило достоверное различие тех и других по общим запасам углерода и по его фракционному составу. В I классе возраста большие запасы углерода накапливаются в семенных березняках вследствие

их более высокой плотности в сравнении с порослевыми, а во II, III до IV классов возраста, пока порослевой древостой использует материнскую корневую систему, большие запасы углерода накапливаются в порослевых березняках.

4. В нашем исследовании географических закономерностей распределения углерода в фитомассе березняков предпринята первая систематическая попытка применения математико-статистических методов для приведения собранных экспериментальных данных к сопоставимому по экорегионам виду с целью выявления географических закономерностей его распределения. Сопоставимость обеспечивается специальными математико-статистическими приемами: а) сравниваются не региональные совокупности фактических данных, а регрессионные оценочные модели фитомассы, в которые в качестве регрессоров включены основные показатели морфоструктуры древостоев – запас стволовой древесины, возраст, густота, средняя высота и диаметр стволов; б) применен рекурсивный принцип, обеспечивающий внутреннюю согласованность уравнений, описывающих фракционную структуру фитомассы насаждений, и в) для приведения названных систем уравнений к сопоставимому по экорегионам виду в упомянутые уравнения введены блоковые фиктивные переменные, характеризующие принадлежность локального массива данных к тому или иному экорегиону.

5. Впервые для березняков выявлено статистически достоверное снижение приведенных в сопоставимое состояние фактических (а), нормативных согласно таблиц биологической продуктивности (б) и предельных (в) показателей запаса углерода в их фитомассе в направлении с юга на север и от атлантического и тихоокеанского побережий – к полюсу континентальности в Восточной Сибири. По меридиональному (провинциальному) градиенту в обоих случаях происходит монотонное снижение запаса углерода в упомянутом направлении, а по широтному (зональному) запасы углерода нарастают в ряду сумм положительных температур от 20 до 60⁰С (в направлении с севера на юг), но при анализе фактических показателей их максимум приходится на сумму положительных температур 60⁰, а при анализе предельных – на 40⁰ с последующим снижением при 60⁰.

6. Картирование потенциальной продуктивности березняков выполнено для отдельной древесной породы – березы, а не для обезличенного по породному составу растительного покрова, как это практиковалось ранее путем экстраполяции на ту или иную территорию фактических данных пробных площадей на «восстановленный» лесной покров по биомам с последующим расчетом зависимости биопродуктивности от климатических характеристик.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. Усольцев, В.А. Совмещение баз данных о запасах углерода и его годичном депонировании в лесных экосистемах Северной Евразии / В.А. Усольцев, А. В. Филиппов, О. А. Крапивина, Ю. В. Усольцева, В. В. Терентьев, А. В. Щукин, Е. В. Белоусов, М. В. Азаренок, Н. С. Ненашев // Вестник БГТУ. № 8. Часть. 1. Белгород, 2004. С. 44-46.
2. Усольцев, В.А. Исследование текущего прироста порослевых березняков и его смещений в зависимости от периода осреднения / В.А. Усольцев, С.В. Залесов, А.В. Филиппов, Ю.В. Усольцева // Леса Урала и хоз-во в них. Вып. 24. Екатеринбург: УГЛТУ, 2004. С. 138-143.
3. Усольцев, В. А. Углерододепонирующая емкость лесных экосистем Уральского региона и ее оценка в Евразийском масштабе / В. А. Усольцев, А.В. Филиппов, О.А. Крапивина, Е.В. Белоусов, Н.С. Ненашев, В.В. Терентьев, И.В. Платонов, А.В. Щукин // Актуальные проблемы развития лесного комплекса. Матер. Всероссийск. н.-т. конф. Вологда: ВолГТУ, 2004. С. 91-93.
4. Усольцев, В.А. Оценка углерододепонирующей емкости лесных экосистем Урала в связи с ожидаемым глобальным потеплением / В.А. Усольцев, Г.Г. Терехов, А. В. Филиппов, О. А. Крапивина, Ю. В. Усольцева, В. В. Терентьев, А. В. Щукин, Е. В. Белоусов, Н. С. Ненашев, М.В. Азаренок // Вестник БГТУ. № 8. Часть 1. Белгород, 2004. С. 42-44.
5. Усольцев, В.А. Оценка некоторых методов определения первичной продукции ветвей деревьев / В.А. Усольцев, А.В. Филиппов, Н.С. Ненашев, В.В. Терентьев, Е.В. Белоусов, И.В. Платонов // Актуальные проблемы лесного комплекса. Сб. научных трудов по итогам 5-й международной научно-техн. конф. «Лес-2004». Вып. 8. Брянск: Ин-т экологии МИА, 2004. С. 65-67.
6. Усольцев, В.А. База данных о биологической продуктивности березняков Евразии / В. А. Усольцев, А. В. Филиппов, Ю. В. Усольцева, В. И. Мезенцев // Актуальные проблемы лесного комплекса. Сб. научных трудов. Вып. 9. Брянск: БГИТА, 2004. С.64-67.
7. Усольцев, В. А. Углерод надземной фитомассы березы семенного и порослевого происхождения в колочной лесостепи / В. А. Усольцев, А. В. Филиппов, Ю. В. Усольцева, С.В. Залесов // Актуальные проблемы лесного комплекса. Сб. научных трудов. Вып. 9. Брянск: БГИТА, 2004. С. 67-70.
8. Усольцев, В.А. Биологическая продуктивность березняков порослевого и семенного происхождения в подзоне южной лесостепи / В.А. Усольцев, А.В. Филиппов, Ю.В. Усольцева, С.В. Залесов // Современная наука и образование в решении проблем экономики Европейского Севера. Матер. Междунар. конференции. Архангельск: АГТУ, 2004. С. 54- 57.

Отдел оперативной полиграфии УГЛТУ. Заказ № 354. Тираж 120.

1430-05