

A  
K 95

На правах рукописи

*2013*

Кох Елена Викторовна

**Вертикальная структура фитомассы  
в сосняках искусственного происхождения**

06.03.02 - лесоведение, лесоводство, лесоустройство и лесная таксация

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата сельскохозяйственных наук

Екатеринбург -- 2013

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет»

Научный руководитель: доктор сельскохозяйственных наук, профессор Усольцев Владимир Андреевич;

Официальные оппоненты: Нагимов Зуфар Ягфарович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет», лесохозяйственный факультет, декан; Марущак Валерий Николаевич, кандидат сельскохозяйственных наук, ФГБУ науки «Ботанический сад» УрО РАН, лаборатория экспериментальной экологии и акклиматизации растений, научный сотрудник;

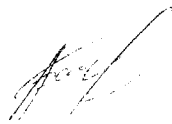
Ведущая организация: ФГБУ науки «Институт леса СО РАН», г. Красноярск

Защита состоится 28 февраля 2013 г. в 10.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.281.01 при Уральском государственном лесотехническом университете по адресу: 620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37, ауд. 401.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Уральского государственного лесотехнического университета.

Автореферат разослан 21 января 2013 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Бачурина Анна Владимировна

## ВВЕДЕНИЕ. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** В связи с возрастающей биосферной ролью лесов изучение вертикально-фракционного распределения фитомассы и продукции разных органов древесных растений в толще лесного полога приобретает все большую актуальность. Материалы исследования вертикально-фракционной структуры лесной фитомассы служат основой для анализа гетерогенного по многим параметрам слоя древесного полога как функционально дифференцированной фотосинтезирующей системы и как экрана и фильтра в обмене биогеохимических элементов и воды в потоках солнечной радиации между компонентами лесной экосистемы (Уткин, 1986а).

Дистанционное зондирование Земли сегодня эффективно используется при оценке различных параметров лесных насаждений, в том числе структуры их фитомассы (Усольцев, 1998; Goetz, 1999; Päävinen et al., 2001; Ivanova, Ovchinnikova, 2011). Для калибровки результатов современной аэрокосмической съемки и разработки цифровых 3-D моделей лесного полога необходимы наземные данные о нем на уровне деревьев и древостоев, стратифицированные по ярусам и фракциям фитомассы (Cermak et al., 1998; Данилин, 2003; Widlowski et al., 2003; Данилин, Фаворская, 2011).

Однако сегодня физиками при активном дистанционном зондировании растительного покрова его структура не учитывается, и он описывается как случайная дисперсионная среда с позиций теории «мутных сред» (Выгодская, Горшкова, 1987; Атутов и др., 2009).

В настоящем исследовании предложен альтернативный подход, показана многофакторная природа вертикально-фракционной структуры фитомассы деревьев, а также возможности и результаты ее аналитического описания путем регрессионного анализа с использованием данных лесной таксации.

Исследования автора проводились в 2009-2013 гг. в рамках грантов РФФИ № 07-07-96010 и 09-05-00508.

**Степень разработанности темы исследования.** Диссертация является законченным научным исследованием.

**Цель и задачи исследования.** Цель диссертационной работы - на примере сосняков искусственного происхождения исследовать влияние возраста и морфоструктуры деревьев и древостоев на вертикально-фракционное распределение надземной фитомассы деревьев путем регрессионного моделирования и составить соответствующие справочно-таксационные таблицы.

В связи с поставленной целью конкретные задачи исследования:

- проанализировать и аналитически описать распределение фитомассы крон деревьев в культурах сосны по возрасту мутовок и по высоте

ствола в связи с возрастом и морфометрическими показателями деревьев и древостоев;

- исследовать и аналитически описать вертикально-фракционное распределение фитомассы крон деревьев на основе модифицированной «пайп-модели»;

- исследовать и аналитически описать закономерности изменения объемной фитомассы (фитонасыщенности) крон в зависимости от возраста и морфологии деревьев и древостоев;

- проанализировать закономерности изменения квалитетических показателей фитомассы хвои, ветвей и стволов в связи с возрастом и морфометрическими показателями деревьев.

**Научная новизна.** Впервые на примере сосняков искусственного происхождения показаны возможности и предложены результаты количественного описания и аналитического объяснения многофакторной изменчивости вертикально-фракционного распределения фитомассы деревьев.

**Теоретическая и практическая значимость работы** состоит в разработке методического подхода к математическому описанию вертикально-фракционного распределения фитомассы деревьев, в составлении справочно-таксационных таблиц, необходимых при оптимизации вертикально-фракционной структуры сосняков с целью повышения их продуктивности, а также при расчетах углеродного бюджета лесных экосистем, реализации экологических программ разного уровня и разработке цифровых 3-D моделей биопродуктивности лесного полога. Разработанные нормативы используются Управлением природных ресурсов и регулирования природопользования по Кустанайской области республики Казахстан в их практической деятельности (имеется справка о внедрении).

**Методология и методы исследования.** В основу исследования положен метод пробных площадей и модельных деревьев. Пробные площади заложены с учетом ОСТ 56-69-83 « Площади пробные лесоустроительные. Методы закладки. М.: ЦБНТИлесхоз, 1983. 31 с.» в основных типах леса (классах бонитета). Для закладки пробных площадей выбраны насаждения, однородные по горизонтальной и вертикальной структуре, по таксационным показателям и условиям местопроизрастания. На пробных площадях проведен сплошной пересчет деревьев. Для каждого дерева с помощью штангенциркуля были измерены диаметры на высоте груди (см) в двух перпендикулярных направлениях с точностью до 0,5 мм. Отбор модельных деревьев для определения их фитомассы осуществляли после завершения пересчета деревьев с использованием рядов распределения деревьев по диаметру. Модельные деревья соответствовали их среднему положению в пределах каждой ступени толщины. Их отбору предшествовало предварительное натурное определение структурных и дендрометрических характеристик насаждения, т.е. расчет его таксационных показателей (см. раздел 2.2).

Модельные деревья брали в августе месяце после полного формирования хвои, что обуславливается природными условиями района исследования (Усольцев, 2007). На каждой пробной площади взято 10 модельных деревьев по ступеням толщины в диапазоне ее варьирования в древостое. Деревья спиливали на уровне корневой шейки. Затем устанавливали возраст дерева по числу годовичных колец на пне. Живую крону делили на три равных по длине секции: 1-я секция – верхняя, 2-я – средняя, 3-я – нижняя секция. Измеряли длину ствола, протяженность бессучковой части, диаметры на высоте 1,3 м и у основания кроны, длину междоузлий и их относительную высоту на стволе, длину общую и охвоенной части каждой ветви в мутовке, угол крепления ветви к стволу (рисунок 1).

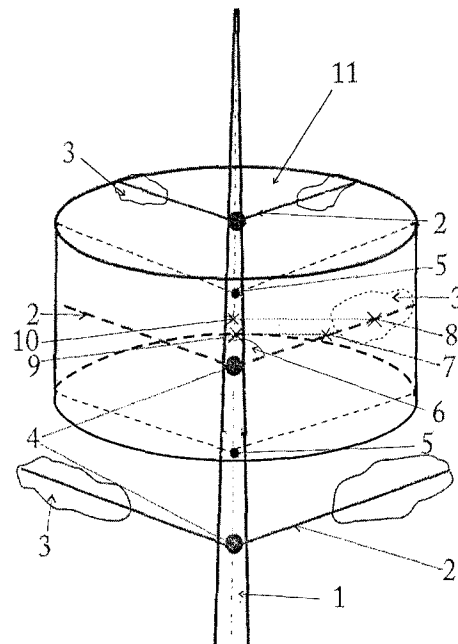


Рисунок 1. Схема выполненных измерений в мутовках дерева: 1 – ствол; 2 – ветви 1-го порядка, формирующие мутовку; 3 – охвоенная часть ветви; 4 – точки крепления мутовки к стволу; 5 – точка, соответствующая середине междоузлия; 6 – угол наклона ветви относительно оси ствола; 7 – точка, соответствующая середине длины ветви; 8 – точка, соответствующая середине длины охвоенной части ветви; 9 – точка, соответствующая проекции середины длины ветви (точка 7) на ось ствола; 10 – точка, соответствующая проекции середины длины охвоенной части ветви (точка 8) на ось ствола; 11 – воронкообразная секция кроны, приходящаяся на одну мутовку.

Затем каждую мутовку последовательно отделяли от ствола в направлении от нижней части кроны к верхней. Взвешивали мутовку целиком, а затем в ней отбирали среднюю ветвь, взвешивали с точностью 5 г, удаляли всю хвою и вновь взвешивали. По навескам хвои и ветвей, взятым в средней части каждой трети кроны, и взвешенным до и после сушки, определяли содержание сухого вещества (ССВ). Затем рассчитывали массу хвои и ветвей в абсолютно сухом состоянии в каждой мутовке дерева, а также показатель объемной массы (термин см.: Протопопов, Горбатенко, 1967; Протопопов и др., 1996), или фитонасыщенности кроны, характери-

зующий эффективность использования деревом занимаемого пространства роста. Это показатель, измеряемый отношением массы хвои или ветвей (г или кг) к занимаемому ими пространству в кропе ( $\text{дм}^3$  или  $\text{м}^3$ ) в виде вонкообразной секции (см. рисунок 1).

Ствол размечали по относительным длинам – 0; 0,1; 0,2;...0,9  $H$  (где  $H$  – общая длина дерева), т.е. делили на 10 равных частей и выпиливали диски. Распил выполняли также на высоте груди.

Измеряли диаметры стволов в коре и без коры с помощью металлической линейки с точностью 0,5 мм в двух взаимно перпендикулярных направлениях у каждой секции, а также на высоте груди. На каждой относительной высоте выпиливали диски, у которых отделялась кора. Их взвешивали с точностью до 0,1 г, затем в лабораторных условиях сушили в термостатах при температуре 100–105<sup>0</sup>С до постоянной массы. По результатам взвешивания древесины и коры дисков до и после сушки определяли ССВ этих компонентов в сырой навеске и во всем стволе. По соотношению абсолютно сухой массы и объема образцов древесины и коры стволов рассчитывали их базисную (условную) плотность, умножением показателей которой на объемы древесины и коры соответствующих отрезков ствола получали абсолютно сухую массу древесины и коры ствола каждой секции и всего дерева (Усольцев, 1985; 1988). Математико–статистическая обработка материалов производилась с помощью программ STATGRAPHICS и Excel для среды MS Windows.

**Положения, выносимые на защиту:**

- регрессионные модели и таблицы распределения фитомассы мутков по их возрасту и вертикальному градиенту дерева;
- разработанные на основе продвинутой «пайп-модели» регрессионные зависимости и таблицы вертикально-фракционного распределения фитомассы и фитонасыщенности крон на уровне дерева;
- регрессионные модели и справочно-таксационные таблицы качественных показателей фитомассы деревьев.

**Степень достоверности и апробация результатов.** 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. Все виды работ по теме диссертации от сбора экспериментального материала до анализа и обработки полученных результатов осуществлены автором или при ее участии.

Основные результаты исследований изложены на II научно-технической конференции с международным участием «Математическое моделирование в экологии» (Пушино, 2011); VII всероссийской научно-

технической конференции студентов и аспирантов «Научное творчество молодежи – лесному комплексу России» (Екатеринбург, 2011); международном научно-практическом семинаре «Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность и дистанционный мониторинг» (Йошкар-Ола, 2011); международной конференции «Резервуары и потоки углерода в лесных и болотных экосистемах бореальной зоны» (Сыктывкар, 2011); международной научно-практической конференции «Актуальные научные вопросы: реальность и перспективы» (Тамбов, 2011); VIII всероссийской научно-технической конференции студентов и аспирантов «Научное творчество молодежи – лесному комплексу России» (Екатеринбург, 2012). Основное содержание диссертации изложено в 16 печатных работах, в том числе 3 – в рецензируемых журналах (список ВАК).

**Структура и объем диссертации.** Диссертация изложена на 124 страницах машинописного текста, состоит из введения, 5 глав, заключения и 7 приложений. Список использованной литературы включает 164 наименования, в том числе 43 на иностранных языках. Текст иллюстрирован 19 таблицами и 33 рисунками.

**ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ**

**Общие принципы изучения вертикально-фракционного распределения фитомассы деревьев.** Данные вертикально-фракционного распределения фитомассы являются необходимой количественной основой при моделировании продукционных закономерностей в лесных экосистемах. Анализ вертикальной структуры фитомассы древостоев выполняется на отдельных деревьях и их совокупностях, обычно без привлечения статистических методов (Бяллович, 1960; Уткин, Дылис, 1966; Дылис, Носова, 1977; Вертикально-фракционное распределение..., 1986). Однако часть исследователей идет по пути формализации изучаемых закономерностей с применением математико-статистических методов (Росс, 1975; Кибзун, Ле Чонг Кук, 1979).

**Вертикально-фракционное распределение фитомассы древостоя как характеристика его структурно-функциональной организации.** Толща лесного полога характеризуется значительной неоднородностью как по составу и состоянию ее структурных частей, так и по условиям и результатам физиологической «работы» (Дылис, 1969). Исследования вертикально-фракционного распределения фитомассы проводились с целью изучения светового режима леса (Алексеев, 1975), выделения вертикальных биогеоценотических структур (Уткин, Дылис, 1966), проведения анализа минерального питания в лесных биогеоценозах (Беручашвили, 1972), определения характеристик пространственной трансформации фитомассы (Рождественский, 1984; Арутюнян, Уткин, 1986; Гульбе и др., 1986; Уткин

и др., 1986). С.Г. Рождественским с соавт. (1986) предложен метод изоплет - сопряженного выравнивания данных вертикально-фракционного распределения фитомассы модельных деревьев одного древостоя. Для совмещения вертикальных слоев кроны и ствола предложен графический метод кумулянт (Усольцев, Нагимов, 1989).

**Распределение массы хвои и скелета ветвей по возрастным слоям кроны.** Объединив элементы двух альтернативных подходов, предложенных соответственно японскими исследователями (Shinozaki et al., 1964) и Н.Г. Бальковым с соавторами (1989), и применив рекурсивное (Четыркин, 1977), или параметрическое (Лиэпа, 1980) моделирование, В.А. Усольцев (1997) исследовал в сосняках и березняках Среднего Урала внутрикрупное кумулятивное распределение фитомассы кроны деревьев в широком возрастном и эколого-ценотическом диапазонах древостоев.

**Закономерности изменения объемной фитомассы (фитонасыщенности) древесного полога.** Исследование объемной фитомассы, или фитонасыщенности крон, выполненное в 50-летнем березняке, показало, что в пределах пространства роста наиболее эффективно используют все факторы жизнеобеспечения дерева среднего ранга, находящиеся в ценотически неустойчивом состоянии (Кох и др., 2011). В последние годы получили развитие методы параметризации архитектуры деревьев для разработки 3-D моделей отражательной и фильтрующей способности лесного полога (рисунок 2). Путем совмещения многофакторных регрессионных моделей вертикально-фракционного распределения фитомассы крон деревьев с 3-D «архитектурными» моделями полога можно получить в итоге 3-D модели фитомассы насаждений.

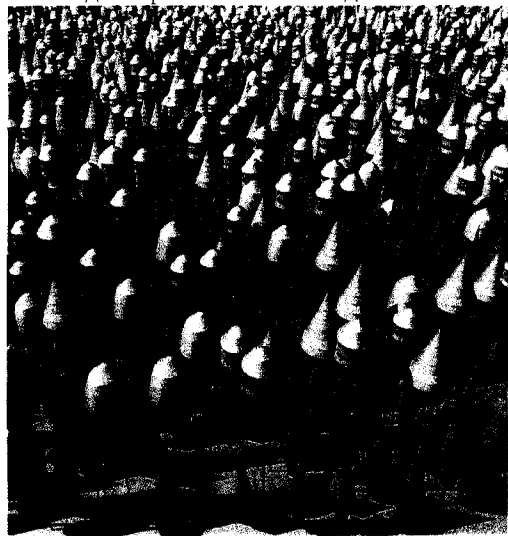


Рисунок 2. Пример 3-D «архитектурной» модели лесного полога (Widlowski et al., 2003).

**О динамике квалитетрических показателей фитомассы деревьев.** Существенной изменчивости в пределах лесного полога подвержены также квалитетрические показатели фитомассы (термин О.И. Полубаяринова, 1976) – плотность и ССВ, составляющие важную компоненту биологической продуктивности. Они определяются совокупно-

стью различных определяющих эндо- и экзогенных факторов и должны быть учтены при моделировании структуры фитомассы деревьев (Исаева, 1963; Полубаяринов, 1976; Голиков, 1982; Усольцев, 1988).

## ГЛАВА 2. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА И ОБЪЕКТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования выполнены на территории Тургайского прогиба в равнинной степной зоне Северного Казахстана, в бору Аман-Карагай площадью 81 тыс. га (Грибанов и др., 1970) на территории Басаманского лесхоза Кустанайской области. В диссертации дано описание климата, геологического строения и рельефа территории, преобладающих типов почв, растительного покрова и преобладающих древесных пород. Заложены 22 пробные площади в культурах сосны обыкновенной возрастом от 9 до 50 лет. Пробные площади заложены по принципу планирования пассивного эксперимента (Налимов, 1971) в трех ортогональных градиентах: возрастном, эдафическом и густотном (таблица 1) и в трех типах лесорастительных условий: влажный бор - Ia-I классы, свежий бор - II класс и сухой бор - III-IV классы бонитета.

Таблица 1

Таксационные показатели древостоев сосны искусственного происхождения по данным перечислительной таксации на пробных площадях

№ пробной площади	Со-став	Воз-раст, лет	Средние		Густота, тыс. экз. на 1га	Площадь сечений, м <sup>2</sup> /га	Запас, м <sup>3</sup> /га	Класс бонитета
			диаметр, см	высота, м				
Возрастной ряд для I класса бонитета, влажный бор								
1	10С	10	3,3	4,0	18,87	16,1	52,3	I
2	10С	19	9,0	9,5	7,000	44,5	234	Ia
3	10С	23	11,0	10,2	3,830	36,4	203	I
4	10С	26	8,8	9,9	6,080	37,0	195	I
Возрастной ряд для II класса бонитета, свежий бор								
5	10С	9	2,5	2,6	11,53	5,7	16,7	II
6	10С	12	3,5	3,4	19,26	18,5	51,0	II
7	10С	13	4,4	4,3	9,200	14,0	43,3	II
8	10С	19	7,9	6,1	4,450	21,8	89,7	II
9	10С	22	7,4	8,1	4,860	20,9	125	II
10	10С	50	16,0	16,4	1,810	36,4	274	II
Возрастной ряд для III класса бонитета, сухой бор								
11	10С	11	3,0	2,8	10,46	7,4	43,3	III
12	10С	14	3,8	3,3	9,730	11,0	33,0	III
13	10С	15	4,1	3,7	8,440	10,9	51,7	III
14	10С	25	7,0	7,5	8,640	33,3	177	III

Продолжение таблицы 1

№ пробной площади	Состав	Возраст, лет	Средние		Густота, тыс. экз. на 1га	Площадь сечений, м <sup>2</sup> /га	Запас, м <sup>3</sup> /га	Класс бонитета
			диаметр, см	высота, м				
Эдафический ряд для возраста 22 года								
15	10С	24	10,5	11,4	5,340	46,2	299	Ia
16	10С	22	10,8	9,3	3,850	35,3	191	I
17	10С	20	7,0	7,0	6,330	24,4	100	II
18	10С	21	7,7	5,5	3,240	15,1	55,2	III
19	10С	21	6,1	4,8	5,180	15,1	48,1	IV
Густотный ряд для возраста 22 года, I класса бонитета								
20	10С	22	12,0	10,2	2,610	29,5	108	I
21	10С	22	9,6	9,2	4,240	30,7	170	I
22	10С	22	9,4	9,3	5,210	36,2	178	I

На заложенных 22 пробных площадях в культурах сосны обыкновенной взято 220 модельных деревьев, которые обработаны по изложенной выше методике. Общее количество исследованных и обработанных мутовок – 1860 и дисков ствола с измерениями квалиметрических показателей древесины и коры – 1670. Для определения ССВ в хвое и скелетной части кроны взято соответственно 214 и 110 навесок (образцов).

### ГЛАВА 3. МНОГОФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФИТОМАССЫ МУТОВОК В КРОНЕ ДЕРЕВА

**Возрастное распределение фитомассы мутовок.** Установлено, что распределение массы хвои и ветвей мутовок по вертикальному профилю дерева зависит от многих параметров дерева и древостоя. Эта зависимость нами описана многофакторными уравнениями, которые в общем виде можно представить как:

$$P_i = f(A, B, N, D, Am, Dw), \quad (1)$$

где  $P_i$  - фитомасса  $i$ -й фракции (хвоя, скелет ветвей или вся мутовка) в абсолютно сухом состоянии, кг;  $Am$  - возраст мутовки, лет;  $Dw$  - средний диаметр ветвей мутовки у их основания, см;  $A$  и  $D$  - соответственно возраст (лет) и диаметр ствола дерева, см;  $B$  - порядковый номер класса бонитета (от 1 до 4);  $N$  - число деревьев на 1 га, тыс. экз. Коэффициенты детерминации  $R^2$  уравнений (1) находятся в пределах от 0,64 до 0,84. Все константы при независимых переменных в (1) и далее значимы на уровне  $t_{05}$ .

Для использования в различных приложениях и для анализа зависимости массы мутовки от определяющих факторов уравнения (1) необходимо протабулировать по задаваемым значениям независимых переменных. Чтобы полученные таблицы были менее громоздки, применен метод последовательного снижения размерности, реализованный путем применения рекурсивной системы связанных уравнений (Четыркин, 1977; Усольцев, 1998).

Согласно рекурсивному принципу, рассчитана «цепочка» связанных уравнений, в которой зависимая переменная предыдущего служит в качестве независимой переменной одного или нескольких последующих уравнений. Полученная рекурсивная система уравнений имеет общий вид (стрелками показана последовательность табулирования):

$$N=f(A,B) \rightarrow D=f(A,B,N) \rightarrow Dw=f(A,B,N,D,Am) \rightarrow P_i=f(A,B,N,D,Am, Dw). \quad (2)$$

При табулировании системы уравнений (2) предельное значение возраста мутовки  $Am_{lim}$  (лет) определено по уравнению

$$Am_{lim} = f(A, B, N, D). \quad (3)$$

Последовательным табулированием рекурсивной системы уравнений (2) составлена справочно-таксационная таблица 2. Геометрическая интерпретация многофакторной возрастной структуры фитомассы мутовок частично представлена на рисунках 3 и 4.

Таблица 2

Вертикальная структура фитомассы мутовок (хвоя и ветви) в культурах сосны, кг (фрагмент)

Возраст, лет	Густота, тыс. экз./га	Диаметр ствола, см	Возраст мутовки, лет					
			2	6	10	18	26	34
I класс бонитета								
10	12,8	3,37	0,105	0,198	-	-	-	-
30	3,40	10,9	0,125	0,236	0,316	-	-	-
50	1,84	18,9	0,086	0,162	0,218	0,305	0,377	-
III класс бонитета								
10	12,8	2,69	0,056	0,104	-	-	-	-
30	3,40	8,74	0,052	0,097	0,131	-	-	-
50	1,84	15,1	0,047	0,088	0,118	0,165	0,204	0,238

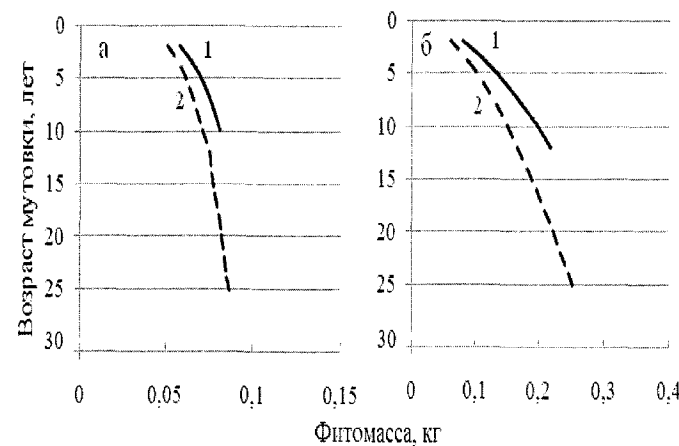


Рисунок 3. График возрастного распределения хвои (а) и общей фитомассы (б) мутовки в культурах II класса бонитета для деревьев в возрасте 20 (1) и 50 (2) лет

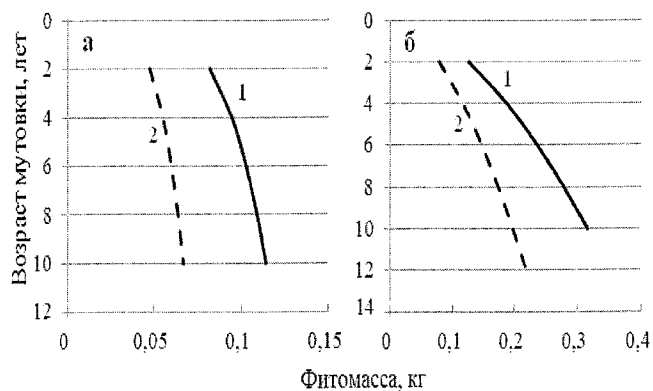


Рисунок 4. График возрастного распределения хвой (а) и общей фитомассы (б) мутовки для дерева в возрасте 20 лет; 1 – класс бонитета I; 2 – класс бонитета III.

Таким образом, фитомасса разновозрастных мутовок увеличивается по мере увеличения возраста дерева (см. рисунок 3), а у разновозрастных деревьев она повышается по мере улучшения добротности местообитания (бонитета) (см. рисунок 4).

**Распределение фитомассы мутовок по вертикальному градиенту.**

Объекты исследования в данном случае те же, что в предыдущем разделе, но вместо возраста мутовки учитывается ее расстояние от основания ствола (корневой шейки), т.е. фиксируется положение каждой мутовки дерева в толще лесного полога. Соответственно распределение фитомассы мутовок моделировали не по их возрасту, а по высотному градиенту. Последовательность расчетов рекурсивной системы уравнений в основном аналогична той, что приведена в предыдущем разделе. Вначале для каждой фракции рассчитаны регрессионные уравнения

$$P_i = f(A, B, H, D, S), \tag{4}$$

где  $S$  – расстояние мутовки от корневой шейки ствола, или от пня, м;  $H$  – высота дерева, м. Дополнительно к основным уравнениям (4) рассчитана рекурсивная система связанных уравнений, в которой вместо диаметра ветви мутовки у ее основания  $D_w$  (в подобной системе предыдущего раздела) задействована высота дерева  $H$ . Соответственно вспомогательная система уравнений включает в данном случае выражение для  $H$

$$H = f(A, B, N, D), \tag{5}$$

а также уравнения для  $D$  и  $N$ , заимствованные из системы уравнений (2). Итоговая рекурсивная система уравнений имеет общий вид:

$$N=f(A, B) \rightarrow D=f(A, B, N) \rightarrow H=f(A, B, N, D) \rightarrow P_i=f(A, B, H, D, S). \tag{6}$$

При табулировании уравнений (6) предельное значение высоты мутовки от корневой шейки  $S_{max}$  (т.е. общая высота дерева) принимается согласно уравнению (5), а начальное значение - по уравнению

$$S_{min} = f(A, B, N, H, D), \tag{7}$$

где  $S_{min}$  – начальное значение высоты мутовки, или высота первой живой ветви от корневой шейки, м. Последовательным табулированием рекурсивной системы уравнений (6) составлена справочно-таксационная таблица, фрагмент которой для культур III класса бонитета дан в таблице 3. Графики (рисунки 5 и 6) показывают, что фитомасса равноудаленных от пня мутовок увеличивается по мере увеличения возраста дерева, а у разновозрастных деревьев она повышается по мере улучшения добротности местообитания.

Таблица 3

Распределение фитомассы мутовок (кг) по вертикальному профилю в культурах сосны III класса бонитета

Возраст, лет	Густота, тыс. экз./га	Диаметр ствола, см	Высота дерева, м	Расстояние от пня, м						
				1	3	5	7	9	11	13
10	12,9	2,7	2,7	0,110	0,047	-	-	-	-	-
20	5,69	5,6	5,5	0,134	0,166	0,074	-	-	-	-
30	3,53	8,6	8,1	-	0,332	0,194	0,091	-	-	-
40	2,51	11,7	10,6	-	-	0,373	0,198	0,097	0,048	-
50	1,93	14,9	12,9	-	-	0,608	0,352	0,186	0,096	0,049

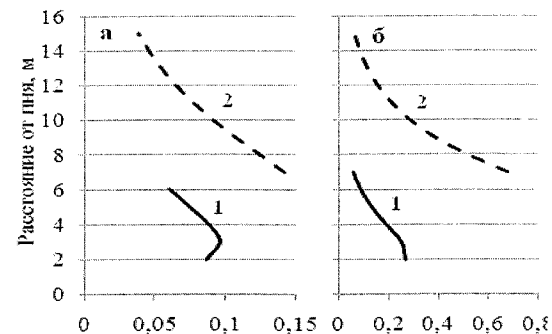


Рисунок 5. График вертикального распределения хвой (а) и общей фитомассы (б) мутовок для деревьев в культурах сосны II класса бонитета в возрасте 20 (1) и 50 (2) лет

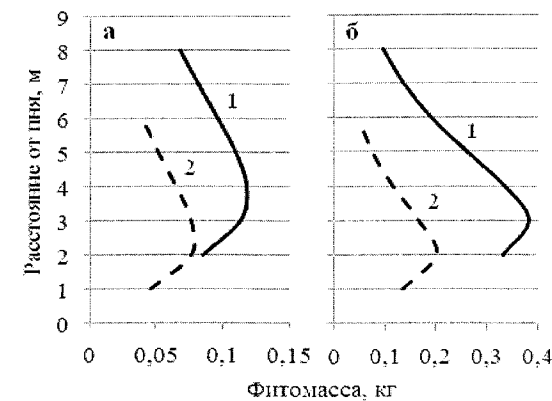


Рисунок 6. График вертикального распределения хвой (а) и общей фитомассы (б) мутовок для деревьев в возрасте 20 лет; 1 – класс бонитета I; 2 – класс бонитета III

В данном случае проанализировано высотное распределение фитомассы мутовок дерева без учета расстояний между мутовками, т.е. величины междоузлий. Поэтому представленная закономерность имеет отношение к отдельно взятой мутовке, расположенной на заданной высоте в пологе, а не к суммарной их массе, приходящейся на заданную толщину слоя (например, 1 м) в вертикальном профиле кроны. Результаты подобного исследования вертикально-фракционного распределения фитомассы на основе теории пайп-модели изложены в следующем разделе.

**Многофакторный анализ вертикально-фракционного распределения фитомассы кроны на основе модифицированной пайп-модели (метод кумулянт).** В основе пайп-модели (Shinozaki et al., 1964; Усольцев, 1997) лежит зависимость фитомассы кроны дерева или ее части от диаметра ствола, измеренного у основания кроны или ее части. Для этого исходные данные фитомассы мутовок (1860 измерений) модифицированы в формате Excel путем последовательного сложения значений их фитомассы в направлении от вершины к основанию кроны. В итоге структура матрицы исходных данных остается без изменения, но вместо фитомассы данной мутовки в ней находится кумулятивное ее значение: в верхней строке – фитомасса мутовки последнего года, в следующей – суммарная фитомасса мутовок последнего и предпоследнего года и т. д. Поскольку у каждой мутовки зафиксировано ее расстояние от основания ствола, то мы получаем непрерывную последовательность нарастающей массы кроны в направлении сверху вниз, сопровождаемую соответствующим нарастанием диаметра ствола.

Эта зависимость двух названных показателей не является инвариантной. Она имеет смещения при изменении морфоструктуры древостоя, а именно при изменении его возраста при неизменных классе бонитета и густоте, при изменении класса бонитета при неизменных возрасте и густоте и при изменении густоты при неизменных возрасте и классе бонитета.

Описание изменчивости кумулятивных значений фитомассы мутовок в кроне дерева по основным определяющим факторам выполнено методом многофакторного регрессионного анализа на основе структуры уравнения

$$P_{cum} = f(A, B, N, D, S), \quad (8)$$

где  $P_{cum}$  – кумулятивные значения фитомассы  $i$ -й фракции – хвои, ветвей (скелета) и всей мутовки в абсолютно сухом состоянии, кг. Значения  $R^2$  уравнений (8) находятся в пределах от 0,68 до 0,70.

Для практического использования результатов расчета уравнения (8) протабулированы по задаваемым значениям расстояний 1-метрового слоя кроны от пня, диаметра ствола на высоте 1,3 м, возраста, класса бонитета древостоя и его густоты с использованием системы уравнений

$$N=f(A, B) \rightarrow D=f(A, B, N) \rightarrow P_{cum} = f(A, B, N, D, S). \quad (9)$$

При табулировании системы уравнений (9) первые два вспомогательных уравнения - для  $N$  и  $D$  - представлены таковыми в системе (2), а

третье звено в системе (9) представлено уравнением (8). Последовательным табулированием системы уравнений (9) получена многовходовая таблица, фрагмент которой приведен в таблице 4, а на рисунках 7 и 8 они показаны графически.

Таблица 4

Распределение кумулятивной фитомассы кроны (кг) по 1-метровым секциям ее вертикального профиля (фрагмент)

Возраст, лет	Густота, тыс. экз./га	Диаметр ствола, см	Расстояние от пня, м							
			2	4	6	8	10	12	14	16
I класс бонитета										
10	12,1	3,43	0,221	0,045	-	-	-	-	-	-
30	3,33	11,0	-	-	16,95	7,142	2,768	1,050	-	-
50	1,82	19,0	-	-	-	-	-	41,08	14,53	5,10
III класс бонитета										
10	12,9	2,69	0,117	-	-	-	-	-	-	-
30	3,53	8,64	12,18	7,010	2,356	0,712	-	-	-	-
50	1,93	14,9	-	-	-	28,94	9,009	2,723	1,497	-

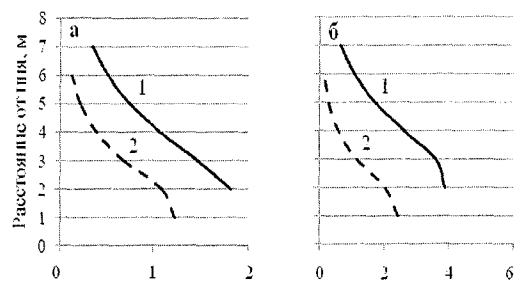


Рисунок 7. Связь кумулятивной массы хвои (а) и общей фитомассы (б) деревьев в 20-летних культурах I и III классов бонитета с расстоянием от пня; 1- класс бонитета I; 2 – класс бонитета III.

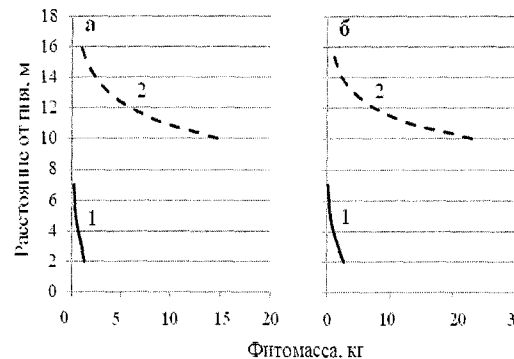


Рисунок 8. Связь кумулятивной массы хвои (а) и общей фитомассы (б) деревьев в культурах II класса бонитета с расстоянием от пня в возрасте 20 (1) и 50 (2) лет

Таким образом, установлено, что кумулятивная фитомасса равноудаленных от пня мутовок увеличивается по мере увеличения возраста дерева, а у равновозрастных деревьев она повышается по мере улучшения добротности местообитания (повышения класса бонитета).



**ГЛАВА 4. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ОБЪЕМНОЙ ФИТОМАССЫ (ФИТОНАСЫЩЕННОСТИ) КРОН ДЕРЕВЬЕВ**

**Изменение объемной фитомассы кроны деревьев по их вертикальному градиенту.** Для установления закономерностей заполнения кронового пространства фитомассой в вертикальном градиенте его толщи сформирован массив данных путем расчленения кроны на совокупность воронкообразных секций, толщина каждой из которых равна расстоянию между двумя последовательными междоузлиями ствола (см. рисунок 1). Рассчитана система уравнений

$$N=f(A, B) \rightarrow D=f(A, B, N) \rightarrow F_i=f(A, B, N, D, S), \quad (10)$$

где  $F_i$  – значения объемной массы  $i$ -й фракции – хвои и скелетной части секции кроны,  $кг/м^3$ . Результаты последовательного табулирования рекурсивной системы уравнений (10) представлены справочно-таксационной таблицей, фрагмент которой – в таблице 5, а графики вертикального распределения объемной массы хвои и скелетной части кроны – на рисунках 9 и 10.

Таблица 5

Изменение объемной массы хвои ( $кг/м^3$ ) по 1-метровым слоям кроны в культурах сосны

Возраст, лет	Густота, тыс. экз./га	Диаметр ствола, см	Расстояние от пня, м							
			2	4	6	8	10	12	14	16
I класс бонитета										
10	12,1	3,43	0,693	10,67	79,21	-	-	-	-	-
30	3,33	11,0	-	-	1,147	5,265	18,59	54,44	-	-
50	1,82	19,0	-	-	-	0,715	2,470	7,107	17,81	40,08
III класс бонитета										
10	12,9	2,69	5,577	-	-	-	-	-	-	-
30	3,53	8,64	0,101	0,958	5,343	21,25	-	-	-	-
50	1,93	14,9	-	-	0,746	2,886	8,924	23,45	-	-

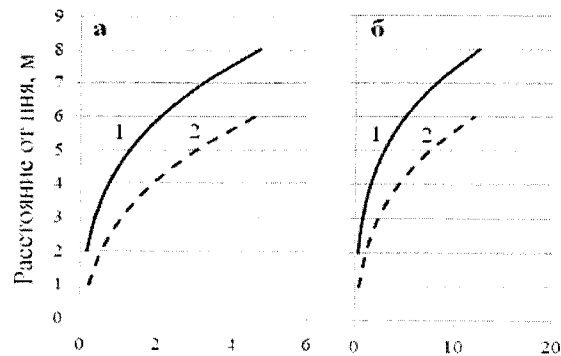


Рисунок 9. Зависимость объемной массы хвои (а) и скелета кроны (б) деревьев в 20-летних культурах I и III классов бонитета от расстояния от пня; 1- класс бонитета I; 2 – класс бонитета III

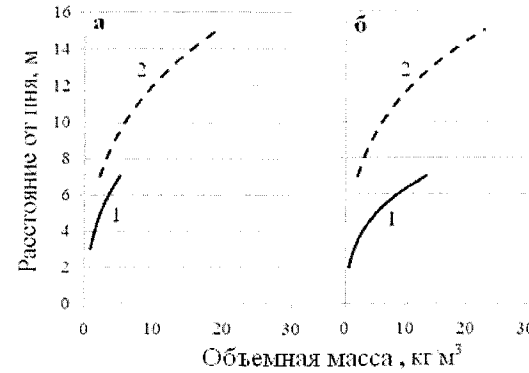


Рис. 10. Зависимость объемной массы хвои (а) и скелетной части кроны (б) деревьев в культурах II класса бонитета от расстояния от пня в возрасте 20 (1) и 50 (2) лет

Таким образом, установлено, что объемная фитомасса кроны, характеризующая степень ее «локационной прозрачности», снижается по высотному градиенту в направлении сверху вниз; при равном удалении от пня она снижается с возрастом, а у равновозрастных деревьев она снижается по мере улучшения добротности местообитания.

**Закономерности изменения средней объемной фитомассы (фитонасыщенности) кроны деревьев.** Выполнен регрессионный анализ зависимости средней объемной массы хвои ( $Fm_f, г/м^3$ ) и ветвей ( $Fm_{br}, г/м^3$ ) в кронах деревьев от возраста дерева ( $A$ , лет) и рангового положения дерева в древостое, выраженного диаметром ствола на высоте груди ( $D$ , см). Получены уравнения для хвои:

$$Fm_f = 696,9 - 12,98A - 796,5D + 26,49AD - 0,269(A^2D) + 7614,9(D/A); \quad (11)$$

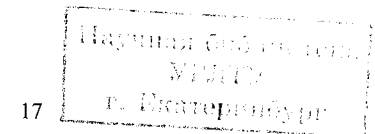
$$R^2 = 0,784; SE = 134,1$$

и для скелета ветвей

$$Fm_{br} = 133,4 - 33,87D + 0,0141(A^2D) + 1180,6(D/A); \quad R^2 = 0,707; SE = 79,1. \quad (12)$$

Графическая интерпретация уравнений (11) и (12) показывает (рисунок 11), что угол наклона линии регрессии, описывающей зависимость фитонасыщенности хвои и скелетной части от диаметра ствола, снижается с возрастом древостоев вследствие более выраженной дифференциации деревьев в молодом возрасте и последующего снижения ее в старших возрастах.

При одном и том же возрасте увеличение объемной массы хвои пропорционально диаметру ствола деревьев на всем исследованном возрастном интервале. При формировании культур сосны наиболее перспективными по эффективности использования пространства роста следует считать деревья-лидеры.



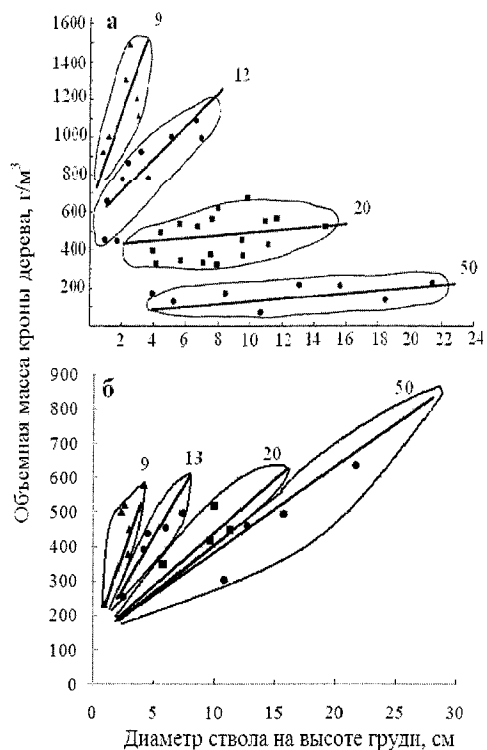


Рис. 11. Зависимость средней объемной массы хвой (а) и скелетной части (б) деревьев в культурах сосны от диаметра ствола на высоте груди и возраста дерева. Цифрами обозначен возраст дерева, лет.

**ГЛАВА 5.  
ЗАКОНОМЕРНОСТИ  
ИЗМЕНЕНИЯ  
КВАЛИМЕТРИЧЕСКИХ  
ПОКАЗАТЕЛЕЙ  
ФИТОМАССЫ ДЕРЕВЬЕВ  
ПО ОПРЕДЕЛЯЮЩИМ  
ФАКТОРАМ**

**Содержание сухого вещества в хвое и скелетной части кроны: анализ изменчивости и составление справочно-нормативных таблиц.** Регрессионным анализом 214

и 110 определений ССВ соответственно в хвое и скелетной части кроны установлено, что кроме возраста дерева на изменчивость ССВ влияют также его высота и таксационный диаметр, характеризующий при прочих равных условиях центическое положение дерева в древостое. Рассчитаны уравнения регрессии и составлены справочно-таксационные таблицы. Средние значения ССВ составили для хвой  $47,0 \pm 0,25$ , для древесины ветвей  $44,6 \pm 0,43$  и для коры  $46,6 \pm 0,49\%$ .

**Плотность и содержание сухого вещества в древесине и коре ствола: анализ изменчивости и составление справочно-нормативных таблиц.** Результаты обмеров, взвешивания и сушки 1670 дисков, выпиленных по относительным высотам стволов модельных деревьев, обработаны по программе регрессионного анализа согласно структуре уравнений

$$\ln Y = a_0 + a_1 \ln h + a_2 (\ln h_i)^2 + a_3 (\ln h_i)^3 + a_4 \ln d + a_5 \ln D + a_6 \ln A + a_7 (\ln h_i)(\ln D) + a_8 (\ln h_i)(\ln A), \quad (13)$$

где  $Y$  – плотность в свежем состоянии либо ССВ в древесине и коре ствола;  $h_i$  – положение диска по высоте ствола, в долях от высоты дерева;  $d$  – диаметр ствола дерева, см;  $D$  – средний диаметр древостоя, см;  $A$  – возраст дерева и древостоя, лет. Значения  $R^2$  в (13) составили от 0,51 до 0,75, за ис-

ключением плотности древесины, однако все константы значимы на уровне  $t_{05}$ . Табулированием уравнений (13) получены итоговые таблицы кваллиметрических показателей (табл. 6 и 7).

Таблица 6

Изменение плотности древесины и коры стволов ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ) в культурах сосны по относительным высотам сечений в связи с возрастом дерева и диаметром ствола на высоте 1,3 м (фрагмент)

Возраст древостоя, лет	Средний диаметр, см	Ступени толщины, см	Относительная высота сечения ствола $h_i$								
			0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Древесина ствола											
10	2,6	1	937	897	895	900	906	911	916	920	923
		5	968	927	925	929	935	941	946	950	954
30	10,6	2	774	770	785	802	817	830	842	852	860
		18	809	805	821	838	854	868	880	890	899
50	20,3	8	723	732	755	777	796	812	827	839	851
		28	742	751	774	796	816	833	848	861	872
Кора ствола											
10	2,6	1	416	572	660	711	741	756	763	762	758
		5	400	550	634	683	712	727	733	733	728
30	10,6	2	373	560	679	759	813	849	873	887	895
		18	353	530	643	719	770	804	826	840	848
50	20,3	8	346	540	670	762	826	872	905	927	942
		28	335	523	650	738	801	846	877	899	913

Из таблицы 6 следует, что плотность древесины и коры стволов у разновозрастных и равновеликих деревьев увеличивается в направлении от основания ( $h_i = 0,1$ ) к вершине ( $h_i = 0,9$ ) на 11-18%, за исключением молодых. У крупных деревьев одного возраста плотность древесины больше примерно на 3% по сравнению с тонкими, а коры – напротив, меньше на 3-4%. Плотность древесины у 10-летних средних деревьев выше на 16% по сравнению со средними деревьями в возрасте 50 лет.

Содержание сухого вещества у разновозрастных и равновеликих деревьев в направлении от основания к вершине, напротив, снижается на 34% в древесине и примерно вдвое – в коре (см. таблицу 7). У крупных деревьев одного возраста ССВ в древесине примерно на 13-16% ниже по сравнению с тонкими, а в коре – на 10-13%. ССВ в древесине у 10-летних средних деревьев ниже на 26% по сравнению со средними деревьями в возрасте 50 лет. Для ориентировочных расчетов по исходным данным, полученным на 22 пробных площадях, рассчитаны средние значения: плотность древесины  $882 \pm 5,2$ ; то же, коры  $675 \pm 4,8 \text{ кг}/\text{м}^3$ ; ССВ древесины  $41,7 \pm 0,15$ ; то же, коры  $46,7 \pm 0,29\%$

Таблица 7

Изменение содержания сухого вещества в древесине и коре стволов (%) в культурах сосны по относительным высотам сечений в связи с возрастом дерева и диаметром ствола на высоте 1,3 м (фрагмент)

Возраст древо-стоя, лет	Средний диаметр, см	Ступени толщины, см	Относительная высота сечения ствола $h_i$								
			0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
<b>Древесина ствола</b>											
10	2,6	1	45,5	45,6	43,5	41,4	39,7	38,3	37,1	36,2	35,4
		5	38,8	38,9	37,0	35,3	33,8	32,6	31,7	30,9	30,2
30	10,6	2	57,7	57,1	53,9	51,1	48,8	46,9	45,4	44,1	43,1
		18	46,4	45,9	43,4	41,1	39,2	37,7	36,5	35,5	34,6
50	20,3	8	57,9	57,0	53,7	50,7	48,3	46,4	44,8	43,5	42,5
		28	51,2	50,4	47,4	44,8	42,7	41,0	39,6	38,4	37,5
<b>Кора ствола</b>											
10	2,6	1	64,1	53,5	47,8	44,4	42,1	40,6	39,5	38,8	38,3
		5	56,5	47,1	42,1	39,1	37,1	35,7	34,8	34,1	33,7
30	10,6	2	76,7	61,6	53,7	49,0	46,0	43,8	42,3	41,2	40,4
		18	64,5	51,7	45,2	41,2	38,6	36,8	35,6	34,6	33,9
50	20,3	8	76,7	60,4	52,2	47,2	44,0	41,8	40,2	39,0	38,1
		28	69,5	54,7	47,2	42,8	39,9	37,8	36,4	35,3	34,5

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дистанционное зондирование Земли сегодня эффективно используется при оценке различных параметров лесных насаждений, в том числе структуры их фитомассы. Для повышения точности определения биологической продуктивности лесных насаждений методами дистанционного зондирования (аэрокосмической съемки) необходима наземная информация о вертикально-фракционном распределении фитомассы крон деревьев, представленная многомерными моделями, учитывающими морфологию деревьев и древостоев.

В диссертации на основе методов весовой таксации фракционного состава надземной фитомассы и современных методов многофакторного регрессионного анализа установлено, что названное распределение не является инвариантным. Дано аналитическое количественное описание закономерностей вертикально-фракционного распределения фитомассы в толще лесного полога и установлено, что распределение фитомассы мутовок в культурах сосны зависит от возраста и диаметра ствола дерева, а также от класса бонитета и густоты древостоя: фитомасса разновозрастных мутовок увеличивается по мере увеличения возраста дерева, а у разновозрастных деревьев она повышается по мере улучшения добротности местообитания (класса бонитета).

Многофакторный регрессионный анализ распределения фитомассы мутовок по высотному градиенту кроны показал, что названное распреде-

ление также не является инвариантным, а зависит от возраста, высоты и диаметра ствола дерева, а также от класса бонитета и густоты древостоя. Установлено, что фитомасса мутовок увеличивается по мере уменьшения высоты их расположения в высотном градиенте дерева. У равноудаленных от пня мутовок она увеличивается с возрастом дерева, а у разновозрастных деревьев повышается по мере улучшения добротности местообитания (класса бонитета).

На основе модифицированной пайп-модели разработаны статистически достоверные регрессионные модели вертикально-фракционного распределения кумулятивной фитомассы хвои и скелета ветвей по 1-метровым слоям кроны дерева в связи с возрастом и морфометрическими (таксационными) показателями деревьев (диаметр ствола) и древостоев (класс бонитета и густота).

Многофакторный регрессионный анализ распределения по высотному градиенту кроны ее объемной фитомассы, характеризующей степень «локационной прозрачности» и эффективности использования пространства роста, показал, что названное распределение также не является инвариантным. Установлено, что объемная фитомасса кроны снижается по высотному градиенту в направлении сверху вниз; при равном удалении от пня она снижается с возрастом, а у разновозрастных деревьев она снижается по мере улучшения добротности местообитания (класса бонитета).

Установлена регрессионная зависимость средней объемной массы от диаметра ствола и возраста дерева. Увеличение объемной фитомассы (фитонасыщенности) хвои и скелетной части кроны в культурах сосны пропорционально диаметру ствола в древостое на всем исследованном возрастном интервале. Угол наклона линии регрессии, выражающей зависимость фитонасыщенности кроны от диаметра ствола, снижается с возрастом вследствие более выраженной дифференциации деревьев в молодом возрасте и последующего снижения ее в старших возрастах. Объемная фитомасса хвои среднего дерева снижается от 1,0-1,2 кг/м<sup>3</sup> в 10 лет до 0,1-0,3 кг/м<sup>3</sup> в 50 лет.

Содержание сухого вещества в хвое с увеличением возраста от 20 до 50 лет повышается на 14-15%, что связано с переходом равновеликих деревьев из положения лидеров в 20 лет в положение кандидатов на отмирание в 50 лет и соответственно с ослаблением физиологических процессов. У деревьев одного возраста и диаметра по мере увеличения высоты дерева происходит снижение ССВ хвои на 20-23%, а у деревьев одного возраста и высоты по мере увеличения диаметра ССВ хвои возрастает на 10-13%, что, по-видимому, связано с совместным влиянием экзо- и эндогенных факторов (условиями произрастания, конкурентным статусом и др.). ССВ древесины и коры ветвей равновеликих по высоте и диаметру деревьев с увеличением возраста от 20 до 50 лет повышается, а у разновозрастных деревьев снижается по мере увеличения размера дерева.

Плотность в свежем состоянии древесины и коры стволов у равно-возрастных и равновеликих деревьев увеличивается в направлении от основания к вершине на 11-18%, а ССВ, напротив, снижается на 34% в древесине и примерно вдвое – в коре. Плотность древесины у 10-летних средних деревьев выше на 16% по сравнению со средними деревьями в возрасте 50 лет, а плотность коры, напротив, примерно на 2% ниже. У крупных деревьев одного возраста ССВ в древесине на 13-16%, а в коре – на 10-13% ниже по сравнению с тонкими. ССВ в древесине у 10-летних средних деревьев ниже примерно на 26% по сравнению со средними деревьями в возрасте 50 лет, а плотность коры соответственно ниже, но лишь в нижней половине ствола.

Таким образом, в настоящем исследовании показаны многофакторная природа вертикально-фракционной структуры фитомассы деревьев, а также возможности и результаты ее аналитического описания путем регрессионного анализа с использованием методов лесной таксации. Полученные результаты служат основой для анализа гетерогенного слоя древесного полога как функционально дифференцированной фотосинтезирующей системы и как экрана и фильтра в обмене биогеохимических элементов и воды в потоках солнечной радиации между компонентами лесной экосистемы. Наземные данные о лесном пологе на уровне деревьев и древостоев, стратифицированные по ярусам и фракциям фитомассы, необходимы для калибровки результатов современной аэрокосмической съемки и разработки цифровых 3-D моделей лесного полога.

В перспективе полученные результаты могут быть развиты на уровне имитационного моделирования слоя древесного полога как функционально дифференцированной фотосинтезирующей системы и как пространственно распределенной продукционной структуры его фитомассы в возрастной динамике.

#### ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ СЛЕДУЮЩИЕ РАБОТЫ.

*По списку ВАК:*

1. **Кох, Е.В.** Вертикальная структура фитомассы крон в 50-летнем березняке / Е.В. Кох, В.А. Усольцев, А.Т. Мезенцев // Естественные и технические науки. - 2011. - № 5. - С. 184-189.

2. **Кох, Е.В.** Закономерности изменения фитонасыщенности крон в сосновых древостоях / Е.В. Кох, В.А. Усольцев, А.Т. Мезенцев // Естественные и технические науки. - 2011. - № 6. - С. 170-177.

3. Усольцев, В.А. Возможности использования унифицированных аллометрических уравнений фитомассы деревьев / В.А. Усольцев, А.Т. Мезенцев, **Е.В. Кох**, В.В. Крудышев, И.С. Лазарев // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. - 2012. - № 3(89). - С. 37-40.

*В прочих журналах, сборниках и материалах конференций*

4. Усольцев, В.А. Реакция биопродуктивности насаждений на загрязнения от Карабашского медеплавильного комбината / В.А. Усольцев, Е.Л. Воробейчик, А.В. Борников, А.С. Жанабаева, А.В. Бачурина, **Е.В. Кох**, А.Т. Мезенцев, В.В. Крудышев, И.С. Лазарев // Леса России и хозяйство в них. - 2011. - № 3 (40). - С. 33-44.

5. Усольцев, В.А. Изменение фитомассы и ее прироста у деревьев лесообразующих пород вблизи Карабашского медеплавильного комбината / В.А. Усольцев, А.В. Борников, А.С. Жанабаева, А.В. Бачурина, **Е.В. Кох**, А.Т. Мезенцев, В.В. Крудышев, И.С. Лазарев // Леса России и хозяйство в них. - 2011. - № 4 (41). - С. 11-21.

6. Усольцев, В.А. Вертикально-фракционное распределение фитомассы крон в сосняках как калибровочная характеристика при их дистанционном зондировании / В.А. Усольцев, **Е.В. Кох**, А.Т. Мезенцев, Н.В. Сенчило, Д.В. Чендарев // Сборник научных трудов ученых и специалистов факультета экономики и управления УГЛТУ. - Вып. 3. - Екатеринбург: УГЛТУ, 2012. - С. 232-254.

7. Усольцев, В.А. Компьютерное моделирование распределения фитомассы крон деревьев по возрасту мутовок в культурах сосны / В.А. Усольцев, **Е.В. Кох**, А.Т. Мезенцев, Д.В. Чендарев, Н.В. Сенчило // Сборник научных трудов ученых и специалистов факультета экономики и управления УГЛТУ. - Вып. 3. - Екатеринбург: УГЛТУ, 2012. - С. 255-257.

8. Усольцев, В.А. Калибровочные параметры дистанционного зондирования лесных насаждений / В.А. Усольцев, А.Т. Мезенцев, **Е.В. Кох**, Н.В. Сенчило, Д.В. Чендарев // Сборник научных трудов ученых и специалистов факультета экономики и управления УГЛТУ. - Вып. 3. - Екатеринбург: УГЛТУ, 2012. - С. 258-260.

9. Мезенцев, А.Т. Закономерности изменения фитонасыщенности крон в древостоях / А.Т. Мезенцев, **Е.В. Кох**, В.А. Усольцев // Материалы VII всероссийской научно-технической конференции студентов и аспирантов «Научное творчество молодежи – лесному комплексу России». - Ч. 2. - Екатеринбург: УГЛТУ, 2011. - С. 98-99.

10. Усольцев, В.А. Совмещение баз данных лесоинвентаризации и первичной продукции лесов на основе статистических моделей и картирование результатов / В.А. Усольцев, М.П. Воронов, **Е.В. Кох**, И.Е. Бергман, А.Ф. Уразова, А.В. Борников, А.С. Жанабаева, А.Т. Мезенцев, В.В. Крудышев // Математическое моделирование в экологии: сборник материалов конференции с международным участием. – Пушино: ИФХиБПП РАН, 2011. - С. 275-277.

11. Усольцев, В.А. Неопределенности при оценке углерододопонирующей способности лесов и перспективы их устранения / В.А. Усольцев, М.П. Воронов, **Е.В. Кох**, А.В. Борников, А.С. Жанабаева, А.Т. Мезенцев, В.В. Крудышев, И.С. Лазарев // Материалы международной конференции

«Резервуары и потоки углерода в лесных и болотных экосистемах бореальной зоны». - Сыктывкар: Ин-т биологии Коми НЦ УрО РАН, 2011. - С. 111-113.

12. Усольцев, В.А. Биологическая продуктивность лесов России / В.А. Усольцев, В.П. Часовских, М.П. Воронов, **Е.В. Кох**. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2011620380. - Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. - М., 23 мая 2011.

13. Воронов, М.П. Оценка и картирование биологической продуктивности лесного покрова в среде Natural (на примере Уральского региона) / М.П. Воронов, В.А. Усольцев, **Е.В. Кох**, А.Т. Мезенцев, В.В. Крудышев, И.С. Лазарев, Д.В. Чендарев, Н.В. Сенчило // Лесные экосистемы в условиях изменения климата: Биологическая продуктивность и дистанционный мониторинг: материалы международного научно-практического семинара. - Йошкар-Ола: МарГТУ, 2011. - С. 109-114.

14. Усольцев, В.А. Вертикально-фракционная структура фитомассы насаждений сосны обыкновенной / В.А. Усольцев, **Е.В. Кох**, А.Т. Мезенцев // Актуальные научные вопросы: реальность и перспективы: сборник статей. - Ч. 2. - Тамбов: «Бизнес-Наука-Общество», 2012. - С. 143-145.

15. **Кох, Е.В.** Многофакторные модели распределения фитомассы крон деревьев по возрасту мутовок в культурах сосны / **Е.В. Кох**, А.Т. Мезенцев, Д.В. Чендарев, Н.В. Сенчило, В.А. Усольцев // Научное творчество молодежи - лесному комплексу России: материалы VIII всероссийской научно-технической конференции. - Ч. 2. - Екатеринбург: УГЛТУ, 2012. - С. 85-88.

16. Мезенцев, А.Т. Вертикально-фракционное распределение фитомассы крон деревьев как одна из калибровочных характеристик при дистанционном зондировании / А.Т. Мезенцев, **Е.В. Кох**, Н.В. Сенчило, Д.В. Чендарев, В.А. Усольцев // Научное творчество молодежи - лесному комплексу России: материалы VIII всероссийской научно-технической конференции. - Ч. 2. - Екатеринбург: УГЛТУ, 2012. - С. 116-119.

*Отзывы на автореферат просим направлять в двух экземплярах с заверенными печатью подписями по адресу: 620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37, УГЛТУ, ученому секретарю диссертационного совета Бачуриной А.В. Факс: (343) 254-62-25; e-mail: dissovnet.usfeu@mail.ru.*

*A-1424*

Подписано в печать 26.12.2012. Объем 1,0 п. л. Заказ № 912 Тираж 100.  
620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37. Уральский государственный лесотехнический университет. Отдел оперативной полиграфии.