

А.Ф. Уразова, А.В. Борников, А.С. Жанабаева, **А.Т. Мезенцев**, В.В. Крудышев // Математическое моделирование в экологии: материалы Второй Национальной конференции с международным участием, 23-27 мая 2011 г. - Пущино: ИФХиБПП РАН, 2011. - С. 275-277.

10. Усольцев, В.А. Неопределенности при оценке углерододепонирующей 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 Междунар. конф. «Резервуары и потоки углерода в лесных и болотных экосистемах бореальной зоны». - Сыктывкар: Ин-т биологии Коми НЦ УрО РАН, 2011. - С. 111-113.

11. 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.

12. 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: сб. науч. трудов. - Тамбов: «Бизнес-Наука-Общество», 2012. - Ч. 2. - С. 143-145.

13. 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: матер. VIII всерос. н.-т. конф. - Екатеринбург: УГЛТУ, 2012. - Ч. 2. - С. 85-88.

14. **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: матер. VIII всерос. н.-т. конф. - Екатеринбург: УГЛТУ, 2012. - Ч. 2. - С. 116-119.

A-1754

Отзывы на автореферат просим направлять в трех экземплярах по адресу: 620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37, УГЛТУ, ученому секретарю Магасумовой А.Г. Факс: (343) 262-96-38; e-mail: dissoviet.usfet@mail.ru.

Подписано в печать 18.09.2013. Объем 1,0 п. л. Заказ № 189. Тираж 100.
620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37. ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет». Отдел оперативной полиграфии.

A

МКНУ УГЛТУ

На правах рукописи

Мезенцев Александр Трофимович

Вертикальная структура фитомассы крон в естественных сосновых лесах степной зоны

06.03.02 - лесоведение, лесоводство,
лесоустройство и лесная таксация

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Екатеринбург, 2013

Работа выполнена на кафедре менеджмента и внешнеэкономической деятельности предприятия 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», кафедра лесной таксации и лесоустройства, заведующий;
Горячев Владимир Михайлович, кандидат биологических наук, ФГБУ науки «Институт экологии растений и животных» УрО РАН, лаборатория дендрохронологии, старший научный сотрудник;

Ведущая организация: ФГБУ науки «Институт леса им. В.Н. Сукачева Сибирского отделения РАН», г. Красноярск

A-1757

Защита состоится 24 октября 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 ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет».

Автореферат разослан 20 сентября 2013 г.

Научная библиотека
УГЛТУ
г. Екатеринбург

Ученый секретарь
диссертационного
совета, канд. с.-х. наук,
доцент

Магасумова Альфия Гаптрауфовна

ВВЕДЕНИЕ. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Исследования структуры и гидравлической архитектуры дерева на уровне вертикального распределения фитомассы как элемента структурно-функциональной организации лесных фитоценозов проводятся для решения специальных задач — изучения светового режима леса (Алексеев, 1975), выделения вертикальных биогеоценотических структур (Уткин, Дылис, 1966; Карманова и др., 1987), исследования «адаптивной геометрии деревьев» (Borchert, Slade, 1981), анализа минерального питания в лесных биогеоценозах (Беручашвили, 1972), определения характеристик продуцирования, накопления, пространственной трансформации фитомассы (Jahnke, Lawrence, 1965; Рождественский, 1984; Артюнян, Уткин, 1986; Гульбе и др., 1986; Уткин, 1986; Уткин и др., 1986).

Современная техника дистанционного зондирования лесного покрова позволяет разрабатывать цифровые 3-D модели структуры полога, в том числе фитомассы (Усольцев, 1998; Goetz et al., 1999; Päivinen et al., 2001; Данилин, 2003; Widlowski et al., 2003; Данилин, Фаворская, 2011). Однако сегодня физиками при активном дистанционном зондировании растительного покрова его структура не учитывается и описывается с позиций теории «мутных сред» как случайная дисперсионная среда (Якубов и др., 2002; Калинкевич и др., 2008).

В настоящем исследовании на примере естественных сосняков предложен альтернативный подход, показана многофакторная природа вертикально-фракционной структуры фитомассы деревьев, а также возможности и результаты ее описания путем регрессионного анализа с использованием методов традиционной лесной таксации.

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

Цель и задачи исследования. Цель диссертационной работы — на примере сосняков естественного происхождения исследовать влияние возраста и морфоструктуры деревьев и древостоев на вертикально-фракционное распределение надземной фитомассы деревьев путем множественного регрессионного моделирования, сопоставить результаты с известными закономерностями в культурах сосны того же возраста и составить соответствующие справочно-таксационные таблицы.

В связи с поставленной целью конкретными задачами исследования были:

- проанализировать и аналитически описать распределение фитомассы крон деревьев в естественных сосняках по возрасту мутовок и по высотному градиенту в связи с возрастом и морфометрическими показателями деревьев и древостоев и сопоставить результаты с известными закономерностями в культурах сосны (Кох, 2013);

- исследовать и аналитически описать вертикально-фракционное распределение фитомассы крон деревьев в естественных сосновках на основе продвинутой «плейп-модели» и сопоставить результаты с известными закономерностями для культур сосны (Kox, 2013);

- исследовать и аналитически описать закономерности изменения фитонасыщенности крон деревьев в естественных сосновках в зависимости от возраста и морфологии деревьев и древостоев и сопоставить результаты с известными закономерностями в культурах сосны (Kox, 2013);

- проанализировать закономерности изменения квадиметрических показателей фитомассы хвои и ветвей в связи с возрастом и морфометрическими показателями деревьев в естественных сосновках.

Научная новизна. Впервые на примере естественных сосновок 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 принципов многофакторного регрессионного моделирования вертикально-фракционной структуры фитомассы деревьев в естественных сосновках, составлении справочно-таксационных таблиц, необходимых при оптимизации вертикально-фракционной структуры естественных сосновок с целью повышения их продуктивности, а также при расчетах углеродного бюджета лесных экосистем, реализации экологических программ разного уровня и создании 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 об использовании).

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» в основных типах леса. На каждой пробной площади взято 10 модельных деревьев по ступеням толщины в диапазоне ее варьирования в древостое. Измеряли длину ствола, протяженность бессучковой части, диаметры на высоте 1,3 м, длину междуузлий и расстояние каждой мутовки от пня, длину общую и охвоенную части каждой ветви в мутовке, угол крепления ветви к стволу. Каждую мутовку последовательно отделяли от ствола в направлении от нижней части кроны к верхней. Взвешивали мутовку целиком, отбирали в ней 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 фитонасыщенности кроны, измеряемый отно-

шением массы хвои или ветвей (г или кг) к занимаемому ими пространству в кроне (дм^3 или м^3) в виде воронкообразной секции междуузлия. 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 мутовок по их возрасту и высотному градиенту дерева в естественных сосновках;

- разработанные на основе продвинутой «плейп-модели» регрессионные зависимости и таблицы вертикально-фракционного распределения фитомассы крон на уровне дерева в естественных сосновках и результаты их сравнения с известными аналогичными материалами для культур сосны;

- регрессионные модели и справочно-таксационные таблицы квадиметрических показателей фитомассы крон 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 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 международной научно-технической конференции «Математическое моделирование в экологии» (Пущино, 2011); VII, VIII и IX всероссийских научно-технических конференциях студентов и аспирантов «Научное творчество молодежи – лесному комплексу России» (Екатеринбург, 2011, 2012, 2013); 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 boreальной зоны» (Сыктывкар, 2011); международной научно-практической конференции «Актуальные научные вопросы: реальность и перспективы» (Тамбов, 2012).

Публикации. Основное содержание диссертации изложено в 14 печатных работах, в том числе 3 опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 142 страницах машинописного текста, состоит из введения, 5 глав, заключения и 7 приложений. Список использованной литературы включает 200 наименований, в том числе 76 иностранных. Текст иллюстрирован 22 таблицами и 54 рисунками.

ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Существует задача повышения коэффициента использования солнечной энергии при фотосинтезе растений, которая решается путем оптимизации морфоструктуры растительного сообщества (Хильми, 1955; Рабинович, 1959; Ничипорович, 1963; Тооминг, 1969; Насыров, 1969), в том числе в направлении регулирования радиационного поля путем перемещения внутри полога максимума фитомассы (Руднев, 1977). Выделяют два основных подхода к оценке распределения фитомассы по вертикальному профилю дерева, основанных на прямых измерениях: 1 – «деструктивный» метод послойного разрезания профиля срубленного дерева на составные фракции и взвешивания той или иной фракции (листва, ветви, ствол) в каждом слое, иногда с формализацией изучаемых закономерностей на основе математико-статистических методов (Miller, 1967; Kinerson, Fritsch, 1971; Дылис, 1974; Росс, 1975; Кибзун, Ле Чонг Куок, 1979; Yamakura, Shinozaki, 1980; Massman, 1982; Waring, 1983; Уткин, 1986; Гульбе, 1986; Каплина, 1986, 1989; Рождественский и др., 1986; Карманова и др., 1987; Wang et al., 1990; Mori, Haghara, 1991; Stenberg et al., 1994; Chen et al., 1994; Cermak et al., 1998; Widlowski et al., 2003) и 2 – «недеструктивный» метод, первоначально используемый для травостоя и сельхозкультур, при котором рубить деревья не нужно (Warren Wilson, 1959, 1963, 1965; Aber, 1979; Kinerson, 1979). Иногда исследуют относительный показатель – фитонасыщенность кроны как отношение фитомассы к объему кроны (Протопопов, Горбатенко, 1967; Усольцев, 1985; Ерохина, Усольцев, 1987).

Один из подходов к весовой стратификации кроны дерева, или к внутренекроновому распределению ее фитомассы, связан с теорией пайп-модели – the pipe model theory (Shinozaki et al., 1964). В.А. Усольцевым (1997) показано, что пайп-модель дает лишь приближенно инвариантные зависимости, и имеются существенные смещения, которые учтены им путем включения в регрессионное уравнение дополнительных переменных.

Дистанционное зондирование Земли с применением ГИС-технологий сегодня эффективно используется при оценке экологического состояния лесной растительности и различных параметров лесных насаждений, в том числе структуры их фитомассы (Усольцев, 1998; Goetz et al., 1999; Päivinen et al., 2001; Черных, 2007; Ivanova, Ovchinnikova, 2011; Watt et al., 2013) при высокой разрешающей способности (Данилин, 2003). Лазерное зондирование лесного полога по точности оценки многих показателей превосходит другие дистанционные методы (Lefsky et al., 2002, 2005; Данилин, 2003; Lim, Treitz, 2004; Maltamo et al., 2004; Stone et al., 2011; Murphy, 2012), а также методы наземной таксации (Næsset, 2002; Næsset et al., 2004; Watt et al., 2013). В результате сканирования получают трехмерную (3-D) фотографию древостоя и его плановое пространственное изображение высокой степени детализации в цифровом формате (рисунки 1 и 2).

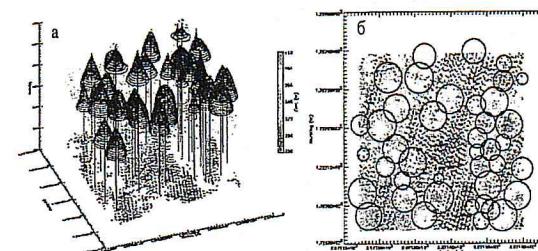


Рисунок 1. Пример 3-D «архитектурной» модели лесного полога на участке площадью 0,4 га (а) и плановая проекция полога древостоя с оконтуренными кронами деревьев основного яруса (б) (Данилин и др., 2005).

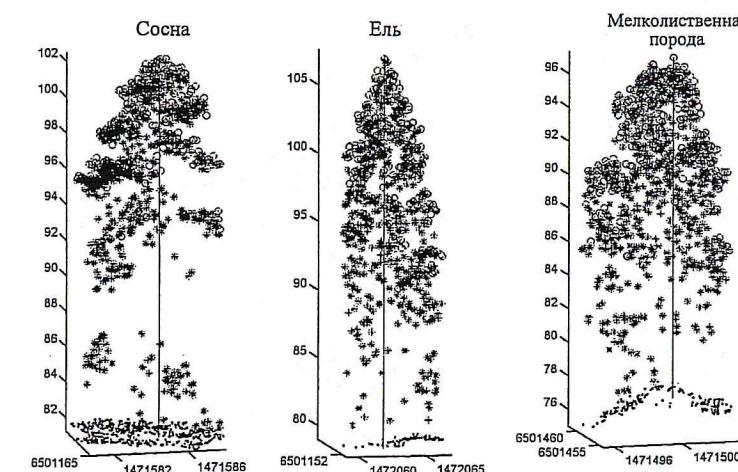


Рисунок 2. Множественная регистрация бортовым сенсором отраженных лазерных импульсов формирует вертикальный профиль деревьев, по характеру группировки точек которого с точностью 95% различают сосну, ель и березу (Holmgren, Persson, 2004; Næsset et al., 2004).

В исследованиях биологической продуктивности лесов необходимо знание закономерностей динамики не только количественных, но и качественных характеристик (плотности и содержания сухого вещества в фитомассе) в рамках квадратурной - науки о количественной оценке качества (Азгалльдов, Райхман, 1973). Исследования названных показателей в литературе фрагментарны и охватывают, как правило, ту или иную фракцию фитомассы в целом, без анализа их изменения по определяющим факторам (Hakkila, 1966; Усольцев, 1971, 1973, 1975; Götze et al., 1972; Голиков, 1982; Мелехов и др., 2003; Todoroki et al., 2012). Для ориентировочных расчетов биопродуктивности древостоя приводятся средние для региона значения плотности и содержания сухого вещества (Усольцев, 1985).

ГЛАВА 2. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА И ОБЪЕКТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования выполнены на территории Тургайского прогиба в равнинной степной зоне Северного Казахстана, в бору Аман-Карагай 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 12 пробных площадей в естественных сосновках 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 естественных сосновок по возрастному, эдафическому и густотному градиентам, рассчитанные по данным перечетов на пробных площадях в Аман-Карагайском бору

№ пробной площа-ди	Со-став	Воз-раст, лет	Средние		Густота, тыс. экз. на 1га	Пло-щадь сечений, м ² /га	За-пас, м ³ /га	Класс бони-тета
			диаметр, см	высо-та, м				
Возрастной ряд II-III классов бонитета, свежий бор								
45	10C	13	1,7	2,7	82,40	18,7	63	III
23	10C	32	5,1	7,6	19,91	40,7	196	III
24	10C	40	8,3	12,8	9,621	52,0	376	II
25	10C	110	22,0	21,4	1,350	51,3	427	III
Эдафический ряд для возраста 40 лет								
26	10C	40	17,0	17,8	2,271	51,5	432	Ia
27	10C	40	15,2	14,7	2,049	37,2	268	I
28	10C	40	12,6	13,8	3,197	39,9	248	II
29	10C	42	5,2	8,8	19,14	40,6	252	IV
30	10C	42	2,5	4,9	56,33	27,6	120	Va
Густотный ряд для возраста 20 лет, IV класс бонитета								
31	10C	20	3,3	3,3	12,29	10,5	31	IV
32	10C	20	3,6	4,3	19,76	20,1	68	IV
33	10C	20	3,0	2,8	44,43	31,4	126	IV

На пробных площадях по ступеням толщины взято 120 модельных деревьев. Общее количество обмеренных и взвешенных мутовок – 1510, количество взятых навесок хвои – 109 и скелета ветвей – 50. Количество выпилов с измерениями квадратических показателей древесины и коры ствола – 720.

ГЛАВА 3. ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФИТОМАССЫ МУТОВОК В КРОНЕ ДЕРЕВА

Распределение фитомассы мутовок по их возрасту. Зависимость фитомассы мутовки от ее возраста, среднего диаметра ветвей мутовки у их основания, возраста дерева, диаметра ствола на высоте 1,3 м и густоты древостоя проанализирована по данным 1510 мутовок и описана уравнением, имеющим общий вид:

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

где P_i - фитомасса i -й фракции (хвои, скелета ветвей и всей мутовки) 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 на высоте груди, см; N – число деревьев на 1 га, тыс. экз. Коэффициенты детерминации R^2 уравнений (1) составили от 0,78 до 0,89. Все константы при независимых переменных в приводимых многофакторных регрессионных уравнениях здесь и далее значимы на уровне t_{05} . Уравнение (1) включено в рекурсивную систему уравнений (Четыркин, 1977):

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

где B – номер класса бонитета от 1 до 5.

Для составления таблиц на основе системы уравнений (2) необходимо знать предельное значение возраста мутовки Am_{lim} (лет), т.е. возраст кроны. Оно рассчитано согласно уравнению

$$Am_{lim}=f(A, B, D); R^2=0,924; SE=0,18. \quad (3)$$

Последовательным табулированием рекурсивной системы уравнений (2) составлена справочно-таксационная таблица, фрагмент которой приведен в таблице 2.

Таблица 2 - Вертикально-возрастная структура фитомассы (кг) мутовок (хвои и ветви) в естественных сосновках (фрагмент)

Возраст, лет	Густота, тыс. шт./га	Диаметр, см	Возраст мутовки, лет			
			2	6	10	16
I класс бонитета						
10	16,9	3,2	0,123	0,251	-	-
20	5,82	6,7	0,122	0,250	-	-
30	3,12	10,3	0,121	0,249	0,408	-
40	2,00	13,9	0,121	0,248	0,405	-
50	1,42	17,6	0,121	0,247	0,404	0,69
III класс бонитета						
10	76,2	1,4	0,016	0,032	-	-
20	26,2	2,9	0,016	0,032	0,052	-
30	14,0	4,5	0,015	0,032	0,051	-
40	9,02	6,1	0,015	0,032	0,051	-
50	6,40	7,8	0,015	0,031	0,051	0,088

Таким образом, фитомасса равновозрастных мутовок в естественных сосновках остается практически неизменной по мере увеличения возраста дерева, а у равновозрастных деревьев она повышается по мере улучшения добротности местообитания (повышения класса бонитета). Фитомасса равновозрастных мутовок у равновозрастных деревьев в естественных сосновках I класса бонитета больше, чем в культурах (Кох, 2013), в 2-летних мутовках на 20%, а в 16-летних – в 2 раза. При понижении класса бонитета с I до III закономерность сменяется на противоположную: в 2-летних мутовках фитомасса в естественных сосновках меньше в 3 раза, а в 16-летних – на 65%.

Распределение фитомассы мутовок по вертикальному профилю кроны. Поскольку стратификация кроны по мутовкам присуща далеко не всем породам, с целью сопоставления вертикально-фракционной структуры крон разных древесных пород и выявления общих закономерностей независимо от типа их ветвления названная структура проанализирована в настоящем разделе не по возрасту мутовок, а по высотному градиенту, когда вместо возраста мутовки учитывается ее расстояние от пня. Принята система уравнений:

$$N=f(A, B) \rightarrow D=f(A, B, N) \rightarrow H=f(A, B, N, D) \rightarrow P_i=f(A, B, D, H, N, S), \quad (4)$$

где S – расстояние мутовки от корневой шейки ствола, или от пня, м; H – высота дерева, м. В системе уравнений (4) вместо диаметра ветви мутовки у ее основания D_w (см. уравнения (2)) задействована высота дерева H . Предельное значение высоты мутовки от пня S_{min} , т.е. расстояние первой живой ветви от пня, рассчитано по уравнению

$$S_{min} = f(A, B, N, D); R^2 = 0,904; SE = 0,27. \quad (5)$$

Путем табулирования системы уравнений (4) и (5) составлена справочно-таксационная таблица, фрагмент которой дан в таблице 3.

Таблица 3 - Распределение фитомассы (хвои и ветвей) мутовок (кг) по вертикальному профилю в естественных сосновках

Воз- раст, лет	Густота, тыс. экз./га	Диаметр ствола, см	Высо- та де- рева, м	Расстояние от пня, м							
				1	3	5	7	9	11	13	
I класс бонитета											
10	16,9	3,2	4,5	-	0,028	0,011	-	-	-	-	
20	5,82	6,7	8,4	-	-	0,173	0,084	-	-	-	
30	3,12	10,3	11,7	-	-	-	0,52	0,25	0,11	-	
40	2,00	13,9	14,4	-	-	-	-	1,02	0,49	0,22	
50	1,42	17,6	16,9	-	-	-	-	-	1,50	0,71	
III класс бонитета											
10	76,2	1,4	2,2	0,019	-	-	-	-	-	-	
20	26,2	2,9	4,5	-	0,030	0,008	-	-	-	-	
30	14,0	4,5	6,7	-	-	0,044	0,013	-	-	-	
40	9,02	6,1	8,7	-	-	0,139	0,055	0,018	-	-	
50	6,40	7,8	10,6	-	-	-	0,157	0,058	0,02	-	

Сопоставление полученных закономерностей с таковыми для культур в тех же условиях (Кох, 2013), показывает: фитомасса равноудаленных от пня мутовок увеличивается с возрастом дерева, а у равновозрастных деревьев она повышается по мере улучшения добротности местообитания. На высоте от 1 до 5 м от пня фитомасса мутовок в культурах в 4-9 раз превышает таковую в естественных сосновках.

Анализ вертикально-фракционного распределения фитомассы кроны на основе метода кумулят. Исследование вертикально-фракционного распределения суммарной массы мутовок, приходящейся на заданную толщину слоя в вертикальном профиле кроны, на основе теории пайл-модели (Shinozaki et al., 1964; Усольцев, 1997) нами выполнено по тем же исходным данным 1510 мутовок, модифицированным к виду кумулят путем последовательного сложения значений их фитомассы в направлении от вершины к основанию кроны. Рассчитана система уравнений

$$N=f(A, B) \rightarrow D=f(A, B, N) \rightarrow H=f(A, B, N, D) \rightarrow PC_i=f(H, B, N, D, S), \quad (6)$$

где PC_i – кумулятивные значения фитомассы i -й фракции – хвои, ветвей и всей мутовки, кг. Значения R^2 уравнений (6) составили от 0,80 до 0,82. При табулировании системы уравнений (6) первые три вспомогательных уравнения представлены таковыми в системе (4). Четвертое звено в системе (6) рассчитано по исходным кумулятивным данным фитомассы мутовок. Значения R^2 составили от 0,80 до 0,82. Табулированием системы уравнений (6) получена многовходовая таблица, фрагмент которой приведен в таблице 4.

Таблица 4 - Распределение кумулятивной фитомассы кроны (кг) по 1-метровым секциям вертикального профиля в естественных сосновках

Воз- раст, лет	Гу- стота, тыс. экз./га	Диа- метр, см	Вы- сота, м	Расстояние от пня, м							
				2	4	6	8	10	12	14	16
I класс бонитета											
10	16,9	3,2	4,5	0,157	0,018	-	-	-	-	-	-
20	5,82	6,7	8,4	-	2,34	0,414	0,053	-	-	-	-
30	3,12	10,3	11,7	-	-	10,71	2,150	0,371	0,062	-	-
40	2,00	13,9	14,4	-	-	-	25,60	5,590	1,13	0,226	-
50	1,42	17,6	16,9	-	-	-	-	41,59	9,73	2,20	0,50
III класс бонитета											
10	76,2	1,4	2,2	0,024	-	-	-	-	-	-	-
20	26,2	2,9	4,5	0,648	0,041	-	-	-	-	-	-
30	14,0	4,5	6,7	-	0,839	0,069	-	-	-	-	-
40	9,02	6,1	8,7	-	-	0,872	0,092	-	-	-	-
50	6,40	7,8	10,6	-	-	5,82	0,802	0,103	-	-	-

Сравнение естественных сосновок и культур (Кох, 2013) показало: кумулятивная масса крон деревьев на удалении 6 м от пня в древостоях I класса бонитета больше в культурах по сравнению с естественными сосня-
ками.

ками в 1,6 раза, а в древостоях III класса бонитета – соответственно в 34 раза. На том же 6-метровом удалении от пня кумулятивная масса кроны в 30-летних древостоях I класса бонитета по сравнению с древостоями III класса бонитета того же возраста в естественных сосновках больше в 155 раз, а в культурах – соответственно лишь в 7 раз.

ГЛАВА 4. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ФИТОНАСЫЩЕННОСТИ КРОН ДЕРЕВЬЕВ В ЕСТЕСТВЕННЫХ СОСНЯКАХ

Изменение фитонасыщенности крон деревьев по вертикальному градиенту. Для каждого из 120 модельных деревьев составлена матрица исходных данных путем расчленения кроны на совокупность воронкообразных секций, толщина каждой из которых равна расстоянию между двумя последовательными междуузлиями ствола. Рассчитана система уравнений

$$N=f(A, B) \rightarrow D=f(A, B, N) \rightarrow F_i=f(A, B, N, D, S), \quad (7)$$

где F_i – значения фитонасыщенности i -й фракции – хвои и скелетной части секции кроны, $\text{кг}/\text{м}^3$. Результаты последовательного табулирования системы уравнений (7) представлены справочно-таксационной таблицей, фрагмент которой дан в таблице 5.

Установлено, что для естественных сосновок и культур (Кох, 2013) характерна одна общая закономерность: фитонасыщенность кроны, характеризующая степень ее «локационной прозрачности», снижается послойно в направлении от вершины к основанию кроны. На удалении 6 м от пня фитонасыщенность хвои в 20-летних культурах всех классов бонитета втрое превышает аналогичный показатель естественных сосновок, а на удалении 12 м от пня в 50-летних культурах названный показатель выше, чем в равновозрастных естественных сосновках, в 25-36 раз.

Таблица 5 - Изменение фитомасыщенности хвои ($\text{кг}/\text{м}^3$) по 1-метровым слоям кроны в естественных сосновках

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	16,9	3,2	0,454	25,31	-	-	-	-	-	-
30	3,12	10,3	-	-	0,148	0,450	1,21	2,94	-	-
50	1,42	17,6	-	-	-	-	0,097	0,196	0,374	0,676
III класс бонитета										
10	76,2	1,4	2,610	-	-	-	-	-	-	-
30	14,0	4,5	-	0,235	0,760	2,240	-	-	-	-
50	6,40	7,8	-	-	0,101	0,223	0,470	0,935	-	-

Закономерности изменения средней фитонасыщенности крон деревьев. В результате регрессионного анализа зависимости средней фитонасыщенности хвои ($Fm_f, \text{г}/\text{м}^3$) и ветвей ($Fm_{br}, \text{г}/\text{м}^3$) в кронах деревьев от возраста дерева (A , лет) и диаметра ствола на высоте груди (D , см) получены уравнения для хвои:

$$Fm_f = 307,13 - 2,42A - 433,83D + 7,69AD - 0,039(A^2D) + 7946(D/A); R^2 = 0,718; \quad (8)$$

и для ветвей

$$Fm_{br} = 75,31 + 1,13A + 43,42D - 0,338(AD); R^2 = 0,639. \quad (9)$$

При сравнении закономерностей изменения средней фитонасыщенности хвои деревьев в естественных сосновках и того же показателя в аналогичных условиях в культурах сосны (Кох, 2013) установлено, что они имеют общий характер, но числовые значения, полученные путем табулирования соответствующих уравнений, различаются.

ГЛАВА 5. ХАРАКТЕРИСТИКА КВАЛИМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФИТОМАССЫ ДЕРЕВЬЕВ В ЕСТЕСТВЕННЫХ СОСНЯКАХ

Анализ содержания сухого вещества в хвое и скелетной части кроны и составление справочно-нормативных таблиц. По данным 109 и 50 определений ССВ соответственно в хвое и ветвях кроны рассчитаны уравнения и составлены таблицы для оценки ССВ по возрасту и высоте дерева. Средние значения ССВ составили для хвои $48,6 \pm 0,53$, для древесины ветвей $45,3 \pm 0,80$ и для коры $48,0 \pm 1,08\%$.

Анализ изменчивости плотности и содержания сухого вещества в древесине и коре ствола и составление справочно-нормативных таблиц. По данным 720 выпилов из стволов установлено, что изменчивость названных четырех квальметрических показателей объясняется тремя переменными: положением диска по высоте ствола, возрастом дерева и средним диаметром древостоя. Рассчитаны уравнения регрессии и составлены справочно-таксационные таблицы. Для ориентировочных расчетов предлагаются средние значения плотности древесины $876 \pm 3,2$ и коры $718 \pm 7,4 \text{ кг}/\text{м}^3$, ССВ древесины $49,4 \pm 0,29$ и коры $51,8 \pm 0,42\%$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что в толще лесного полога естественных сосновок распределение фитомассы мутовок зависит от морфологии деревьев и древостоя. Фитомасса равновозрастных мутовок у равновозрастных деревьев в лучших условиях произрастания в естественных сосновках существенно выше по сравнению с культурами, а в худших условиях, напротив, ниже, что можно объяснить разными темпами роста естественных сосновок и культур в разных условиях произрастания.

Распределение фитомассы мутовок по высотному градиенту кроны зависит от возраста, высоты и диаметра ствола дерева, а также от класса бонитета и густоты естественных сосновок. На расстоянии от 1 до 5 м от пня фитомасса мутовок в культурах в 4-9 раз превышает таковую в естественных сосновках.

Вертикально-фракционное распределение кумулятивной фитомассы хвои и скелета ветвей по 1-метровым слоям кроны дерева зависит от возраста, диаметра и высоты дерева, а также от класса бонитета и густоты естественного сосновка. Кумулятивная фитомасса равноудаленных от пня мутовок увеличивается по мере увеличения возраста дерева, а у равновозрастных деревьев она повышается по мере повышения класса бонитета. На удалении 6 м от пня кумулятивная масса крон больше в культурах I класса бонитета по сравнению с естественными сосновками той же продуктивности в 1,6 раза, а в древостоях III класса бонитета – в 34 раза.

Фитонасыщенность крон, характеризующая степень «локационной прозрачности» и эффективности использования пространства роста, в естественных сосновках снижается в направлении от вершины к основанию кроны. На удалении 6 м от пня фитонасыщенность хвои в 20-летних культурах всех классов бонитета втрое превышает аналогичный показатель естественных сосновок, а на удалении 12 м от пня в 50-летних культурах она выше, чем в равновозрастных естественных сосновках, в 25-36 раз.

Угол наклона линии регрессии, выражющей зависимость средней фитонасыщенности кроны от диаметра ствола, снижается с возрастом вследствие более выраженной дифференциации деревьев в молодом возрасте и снижения ее в старших возрастах. Фитонасыщенность хвои среднего дерева в естественных сосновках снижается с 0,7-0,8 кг/м³ в возрасте 13 лет до 0,2-0,3 кг/м³ в возрасте 110 лет, а в культурах сосны соответственно от 1,0-1,2 кг/м³ в 9 лет до 0,1-0,3 кг/м³ в 50 лет. При одном и том же возрасте увеличение фитонасыщенности хвои пропорционально диаметру ствола в древостое на всем исследованном возрастном интервале. Поэтому при формировании как естественных сосновок, так и культур сосны, наиболее перспективными по эффективности использования пространства роста следует считать деревья-лидеры.

Установлены зависимости и составлены таблицы для оценки ССВ в хвое и ветвях в зависимости от возраста и высоты деревьев. Соответствующие закономерности и таблицы предложены для оценки плотности древесины и коры стволов в зависимости от возраста дерева и высоты от пня.

Средние показатели ССВ в естественных сосновках составляют: в хвое $48,6 \pm 4,7$; в древесине и коре ветвей соответственно $45,3 \pm 4,7$ и $48,0 \pm 6,3$; в древесине и коре стволя соответственно $49,4 \pm 7,7$ и $51,8 \pm 11,2\%$. Средняя плотность древесины и коры стволя соответственно 876 ± 87 и 718 ± 198 кг/м³.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

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. О 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.

Статьи в прочих изданиях:

4. 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 хоз-во в них. - 2011. - № 4 (41). - С. 12-21.
5. Усольцев, В.А. Вертикально-фракционное распределение фитомассы крон в сосновках 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. - Екатеринбург: УГЛТУ, 2012. - Вып. 3. - С. 232-254.
6. 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. - Екатеринбург: УГЛТУ, 2012. - Вып. 3. - С. 255-257.
7. 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. - Екатеринбург: УГЛТУ, 2012. - Вып. 3. - С. 258-260.
8. 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». - Екатеринбург: УГЛТУ, 2011. - Ч. 2. - С. 98-99.
9. 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,