

На правах рукописи



Ненашев Николай Сергеевич

Структура фитомассы и ее годичный прирост в культурах сосны (на примере омской лесостепи и тургайской степи)

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 И. А. Фрейберг


Официальные оппоненты - доктор биологических наук профессор С.Г. Шиятов
кандидат сельскохозяйственных наук В.В. Кириллова

Ведущая организация - Оренбургский государственный агроуниверситет

Защита состоится 23 февраля 2006 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.

Факс: (343)254-62-25

Автореферат разослан 28 декабря 2005 г.

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

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Накопление углеродсодержащих газов CO_2 , CO , CH_4 и др., из которых абсолютно преобладает первый, приводит к так называемому парниковому эффекту как следствию минимизации фитомассы растительного покрова планеты при одновременной максимизации содержания CO_2 и других парниковых газов в атмосфере (Межжерин, 1994). В качестве одного из вариантов компенсации антропогенных выбросов CO_2 предлагаются приемы повышения продуктивности фитомассы лесов (Dyson, 1977) и интенсификации лесного хозяйства (Winjum et al., 1993).

В этой связи мировое научное сообщество проявляет повышенный интерес к изучению биологической продуктивности и углерододепонирующей способности лесов, необходимым для оценки их роли в глобальных экологических циклах. Наиболее интенсивно связывают атмосферный углерод молодые насаждения, особенно насаждения искусственного происхождения. Изучению биологической продуктивности лесов на примере культур сосны посвящена настоящая работа.

Исследования автора проводились в 2003-2005 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 фитомассы и ее годичного прироста в искусственных фитоценозах сосны обыкновенной, произрастающих в двух территориально удаленных регионах и соответственно в двух природных зонах – лесостепи Западной Сибири (Омская область, Саргатский лесхоз) и сухой степи Северного Казахстана (Кустанайская область, Семиозерный лесхоз).

В связи с поставленной целью конкретными задачами исследования были:

- изучить особенности структуры фитомассы и ее годичного прироста в сосняках искусственного происхождения в условиях лесостепи и сухой степи;
- установить закономерности изменения содержания сухого вещества и плотности различных фракций фитомассы;
- составить нормативы оценки фитомассы и ее годичного прироста на уровнях отдельного дерева и древостоя;
- разработать метод моделирования экспериментальных данных годичного прироста фитомассы сосны и сравнить его с существующими методами.

Перечисленные положения выносятся на защиту.

Научная новизна. Впервые выполнена сравнительная оценка сосняков искусственного происхождения по их фитомассе и годовичному приросту в двух природных зонах – лесостепи Омской области и сухой степи Тургайского прогиба. Выполнен сравнительный анализ основных квалитетических показателей (содержания сухого вещества и базисной плотности) фракций фитомассы. Впервые составлены таксационные таблицы для оценки фитомассы и ее годовичного прироста на уровнях отдельного дерева и древостоя.

Практическая значимость работы состоит в разработке нормативных материалов, необходимых при расчетах углеродного бюджета лесных экосистем в условиях лесостепи и сухой степи, при разработке лесного кадастра, осуществлении лесного мониторинга и экологических программ.

Разработанные нормативы используются Омским филиалом Западно-Сибирского лесостроительного предприятия, Агентством лесного хозяйства по Омской области, Саргатским лесхозом и Департаментом природных ресурсов и регулирования природопользования Кустанайской области (Казахстан) при инвентаризации культур сосны и ведении хозяйства в них.

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 современных 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-техн. конференции «Актуальные проблемы развития лесного комплекса», Вологда, 2003; II Международной научно-практ. конференции «Экология: образование, наука, промышленность и здоровье», Белгород, 2004; 5-й Международной научно-техн. конференции «Лес-2004», Брянск, 2004; 4-й Международной научно-техн. конференции «Актуальные проблемы лесного комплекса», Брянск, 2004; Всероссийской научно-техн. конференции студентов и аспирантов, Екатеринбург, 2004; Международной научно-техн. конференции «Социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса», Екатеринбург, 2004; Международной научно-практ. конференции «Лесопользование, экология и охрана лесов: фундаментальные и прикладные аспекты», Томск, 2005; 6-й Международной научно-техн. конференции «Лес-2005», Брянск, 2005.

Основное содержание диссертации изложено в 16 печатных работах.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 120 страницах машинописного текста, состоит из введения, 5 глав, заключения и 13 приложений. Список использованной литературы включает 239 наименований, в том числе 112 иностранных. Текст иллюстрирован 19 таблицами и 38 рисунками.

ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

После ратификации Россией Протокола Киото в октябре 2004 г. для нашей страны открываются новые перспективы в оценке углерододепонирующей роли национальных лесов. Для лесов России оценки углеродного пула в фитомассе неоднозначны и по данным разных исследователей варьируют от 28 до 50 Гт, а в расчете на 1 га лесопокрытой площади – от 154 до 500 т (Kurbanov, 2000). Поэтому не удивительно, что роль лесных экосистем в глобальных биосферных циклах разными исследователями оценивается с точностью до наоборот: от отрицательной (Woodwell et al., 1978) до положительной (Кобак и др., 1980).

Точность оценки запасов и годовичного депонирования углерода на лесопокрытых площадях определяется, прежде всего, количеством экспериментальных определений биологической продуктивности насаждений на пробных площадях, и их нехватка сегодня ограничивает точность этой оценки. Второй лимитирующий фактор – несовершенство методов получения экспериментальных данных о биопродуктивности насаждений. Одни из них довольно точны, но чрезвычайно трудоемки, другие, напротив, легко реализуемы, но не обеспечивают необходимой точности.

Для исследователя наземной фитомассы и первичной нетто-продукции (NPP), основные компоненты которых доступны для прямых измерений в режиме реального времени либо ретроспективно (Молчанов, Смирнов, 1967; Уткин, 1970, 1975, 1982), проблема надежности оценки биопродуктивности сводится к оценке точности выборочного учета на трех его уровнях (насаждение → дерево → навеска фитомассы) (Усольцев, 2005).

В отношении методов определения биопродуктивности корней имеется множество противоречий и неопределенностей, касающихся установления соотношений подземной и наземной продукции, определения доли тонких корней в общей их массе, оценки общей массы тонких корней и их первичной продукции с учетом массооборота, познания механизмов, контролирующих формирование, отпад и разложение тонких корней (Рахтеенко, 1963; Орлов, 1967; Santantonio et al., 1977; Cannell, 1989; Helmisaari et al., 2002).

При оценках биопродуктивности насаждений необходимо знание квалитетических показателей (плотность и содержание сухого вещества)

фракционного состава фитомассы, которые служат в качестве экологической меры концентрации органического вещества в единице объема или свежей массы той или иной фракции (Shiple, Vu, 2002) и необходимы для перевода фитомассы из объемных и весовых (в свежем состоянии) единиц в единицы сухой массы. Однако эти показатели очень изменчивы, и необходимо их определение в каждом конкретном случае (Полубояринов, 1976).

Несмотря на множественные неопределенности в оценке NPP лесных экосистем, сегодня есть реальные предпосылки к тому, чтобы пополнить экспериментальные данные NPP, сформировать достаточно репрезентативную базу данных о NPP и оптимизировать расчеты углеродного цикла лесных экосистем. NPP культур сосны в лесостепи Омской области и в степных борах Тургайского прогиба ранее не исследовалась.

ГЛАВА 2. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНОВ И ОБЪЕКТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проведены в Саргатском лесхозе в 100 км к северу от г. Омска и в Семиозерном лесхозе в островном бору Аман-Карагай в 100 км к югу от г. Кустаная в Северном Казахстане. Приведена краткая природная характеристика районов исследования, описаны климат, рельеф и почвы, дана характеристика лесного фонда.

В Саргатском лесхозе культуры были созданы посадкой на остепненных участках межколочных пространств на черноземе выщелоченном (пробные площади 1,2,3,6; насаждения Ia класса бонитета), черноземно-осолоделой (пробные площади 4,5,7; насаждения I класса бонитета) и осолоделой почве (пробные площади 8 и 9; насаждения соответственно II и III классов бонитета). Таксационная характеристика пробных площадей дана в таблице 1.

В Семиозерном лесхозе объектами исследований служили культуры сосны на плоских и волнистых равнинах (Маланьин, 1984). Пробные площади №№ 10-14 и 17 заложены на дерново-боровых почвах с доступным для корней уровнем грунтовых вод – 2,0-2,5 м (насаждения II класса бонитета). На этом же типе почв заложены пробные площади 18 и 19, но с более глубоким уровнем залегания грунтовых вод – соответственно 3,5 и 5,5 м (насаждения соответственно III и IV классов бонитета). Пробные площади №№ 15 и 16 заложены на темно-каштановых почвах с глубиной залегания грунтовых вод соответственно 2,0 и 4,0 м (насаждения соответственно Ia и I классов бонитета). Таксационная характеристика пробных площадей дана в таблице 2.

Фитомасса и первичная продукция в абсолютно сухом состоянии получены у 71 и 95 модельных деревьев соответственно в Саргатском и Семиозерном лесхозах.

Таблица 1

Таксационные показатели культур сосны по возрастному и эдафическому рядам на пробных площадях Саргатского лесхоза

№ пробной площади	Состав	Возраст, лет	Средние		Густота, экз/га	Площадь сечений, м ² /га	Запас, м ³ /га	Класс бонитета
			Диаметр, см	Высота, м				
Возрастной ряд для Ia-I классов бонитета								
1	10С	10	5,7	4,5	2264	5,8	17,9	Ia
2	10С	21	11,0	10,4	2945	28,1	143,0	Ia
3	10С	30	15,6	14,8	1925	36,6	282,0	Ia
4	10С	40	15,6	16,6	1836	34,9	317,6	I
5	10С	50	18,4	18,7	1603	42,8	288,5	I
Эдафический ряд для возраста 20 лет								
6	10С	20	10,1	10,2	2636	21,0	132,4	Ia
7	10С	20	12,3	8,9	1873	22,1	88,9	I
8	10С	20	9,9	6,8	2129	16,5	50,9	II
9	10С	20	8,2	5,1	1794	9,5	27,1	III

Таблица 2

Таксационные показатели культур сосны по возрастному и эдафическому рядам на пробных площадях Семиозерного лесхоза

№ пробной площади	Состав	Возраст, лет	Средние		Густота, тыс. экз. на 1 га	Площадь сечений, м ² /га	Запас, м ³ /га	Класс бонитета
			Диаметр, см	Высота, м				
Возрастной ряд для II класса бонитета, свежий бор								
10	10С	9	2,5	2,6	11,53	5,7	16,7	II
11	10С	13	4,4	4,3	9,200	14,0	43,3	II
12	10С	19	7,9	6,1	4,450	21,8	89,7	II
13	10С	22	7,4	8,1	4,860	20,9	125	II
14	10С	50	16,0	16,4	1,810	36,4	274	II
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

ГЛАВА 3. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Пробные площади заложены по ОСТ 56-69-83. Подбор участков выполнен по схеме «креста» (Казимиров, Морозова, 1973): в наиболее распространенном типе леса подбирались возрастной ряд насаждений в количестве 5 пробных площадей в возрастном диапазоне от 9-10 до 50 лет. Возрастной ряд ограничен предельным возрастом культур сосны в лесном фонде исследуемых двух регионов. Затем по сводной ведомости распределения насаждений по классам возраста устанавливали наиболее представленный класс возраста и для этого класса подбирали 4-5 насаждений по полному эдафическому спектру местообитаний региона.

Модельные деревья взяты в августе месяце по ступеням толщины деревьев в количестве от 8 до 10 на пробной площади. Фитомасса стволов и ее годичный прирост определены путем распиловки ствола на секции, подсчета и замера годичных колец за последние 5 лет. Взяты выпилены для определения плотности и влажности древесины и коры.

Фитомасса и годичный прирост хвои определены посредством взятия одной средней ветви из каждой трети кроны. У каждой ветви определяли долю хвои текущего года с последующим пересчетом на все дерево.

Вследствие неопределенностей с оценкой годичного прироста ветвей, в нашей коллективной работе (Усольцев, Филиппов, Ненашев и др., 2004) выполнено специальное исследование по сравнительному анализу методов А. И. Уткина (1975), Р. Уиттекера (Whittaker, 1962) и А.И. Русаленко и Е.Г. Петрова (1975), которые дают приемлемую точность при сравнительно невысоких затратах времени.

Установлено, что метод Р. Уиттекера (1962) на статистически достоверном уровне ($t = 2,9 \div 8,2 > 2,0$) завышает прирост по отношению к остальным трем на 12-34 %, а между результатами, полученными по методам А. И. Уткина (1975) и А.И. Русаленко и Е.Г. Петрова (1975), различия не достоверны ($t = 1,07 \div 1,77 < 2,0$).

Таким образом, наиболее трудоемкий метод А. И. Уткина и наименее трудоемкий - А.И. Русаленко и Е.Г. Петрова дают одни и те же значения годичного прироста массы скелета ветвей. Поэтому в нашем исследовании годичный прирост массы ветвей определен последним методом, путем деления удвоенной массы ветвей на возраст кроны, измеренный по годичным кольцам у ее основания. Это согласуется с известным фактом (Уткин, 1975), что средняя по массе мутовка у сосен приходится на середину кроны.

Содержание абсолютно сухого вещества в хвое и скелете (ветвях) кроны определено по образцам фитомассы (выпилам ветвей и навескам хвои) для каждого модельного дерева. В культурах Саргатского лесхоза взято 440 об-

разцов, в том числе хвои и ветвей – по 150, древесины и коры стволов – по 70. В культурах Семиозерного лесхоза взято 490 образцов, в том числе хвои – 220, ветвей – 90, древесины и коры стволов – по 90.

Общая масса корней и тонкой их фракции (<1 мм) рассчитана для культур сосны двух регионов с использованием трехфакторных аллометрических уравнений

$$P_{к.о} = 0,2280A^{-0,3622}D^{2,7226}H^{0,4772}; R^2=0,982; SE=0,095; (1)$$

$$P_{к.т} = 0,2266A^{-0,4052}D^{2,8565}H^{0,6942}; R^2=0,980; SE=0,098, (2)$$

где $P_{к.о}$ и $P_{к.т}$ – соответственно фитомасса общая и тонкой фракции (< 1 мм) корней дерева в абсолютно сухом состоянии, кг; A , D и H – соответственно возраст (лет), диаметр на высоте груди (см) и высота (м) дерева. Уравнения (1) и (2) рассчитаны В. А. Усольцевым (1988) для сосны Аман-Карагайского бора по исходным данным массы корней 28 модельных деревьев, полученных И.С. Крепким (Усольцев, Крепкий, 1994).

Годичная продукция корней NPP принята равной наличной массе тонких корней в предположении, что продолжительность жизни тонких корней равна 1 году (Молчанов, 1954; Janssens et al., 2002). Фитомасса и первичная продукция сосны на 1 га рассчитаны регрессионным (аллометрическим) методом по полному фракционному составу.

ГЛАВА 4. ФИТОМАССА И ЕЕ ГОДИЧНЫЙ ПРИРОСТ У ДЕРЕВЬЕВ В КУЛЬТУРАХ СОСНЫ ЛЕСОСТЕПНОЙ И СТЕПНОЙ ЗОН И НОРМАТИВЫ ИХ ОЦЕНКИ

При составлении нормативов фитомассы деревьев и ее годичного прироста наиболее часто используется трехфакторная зависимость вида (1)-(2), которая в форме линеаризованного уравнения множественной статической аллометрии имеет вид (Усольцев, 1988)

$$\ln P_i = a_0 + a_1 \ln A + a_2 \ln H + a_3 \ln D + a_4 \ln H \ln D, (3)$$

где P_i – абсолютно сухая масса фракции дерева (ствол, хвоя, ветви), кг.

Чтобы выявить различия культур сосны двух регионов – соответственно в Саргатском лесхозе Омской области и Семиозерном лесхозе Кустанайской области – по структуре и продуктивности фитомассы или показать их отсутствие, регионы закодированы бинарной переменной X , которая введена в уравнения в качестве одной из независимых переменных.

В итоге для оценки фитомассы деревьев была рассчитана цепочка взаимозависимых (рекурсивных) уравнений:

$$\begin{aligned} \ln P_S &= f [X, \ln A, \ln D, (\ln D)^2, \ln H] \rightarrow \ln (P_{SB}/P_S) = f [X, \ln D, \ln H, (\ln H)^2] \rightarrow \\ &\rightarrow \ln P_B = f [X, \ln A, \ln D, (\ln H)^2, (\ln D \ln H)] \rightarrow \\ &\rightarrow \ln P_F = f [X, \ln A, \ln D, \ln H, (\ln D \ln H), \ln P_B], \end{aligned} (4)$$

где P_S, P_{SB}, P_B, P_F – фитомасса фракции дерева, соответственно стволов с корой, коры стволов, ветвей, хвои в абсолютно сухом состоянии, кг; X – бинарная переменная: для культур Саргатского лесхоза $X=0$, для Семиозерного лесхоза $X=1$.

При расчете уравнений (4) установлено, что культуры сосны двух регионов по массе стволов деревьев достоверно не различаются и, напротив, по доле коры в массе стволов и по массе кроны дерева различия статистически достоверны: доля коры в массе стволов ниже в омской лесостепи ($t_{факт} = 4,4 > t_{05} = 2,0$), а масса ветвей и хвои ниже в тургайской степи (соответственно $t_{факт} = 2,4 > t_{05} = 2,0$ и $t_{факт} = 7,1 > t_{05} = 2,0$). Уравнения (4) характеризуются высокой степенью адекватности и имеют R^2 в пределах от 0,852 до 0,993.

Путем последовательного табулирования рекурсивной цепочки уравнений (4) получены таблицы для оценки фитомассы деревьев, фрагмент которых для надземной части дан в табл. 3: масса коры в культурах омской лесостепи выше соответствующего показателя тургайской степи на 12%, а масса кроны, напротив, ниже – по хвое на 11% и ветвям на 20 % по сравнению с соответствующими показателями культур тургайской степи.

В пределах одного региона структура фитомассы равновеликих деревьев изменяется с возрастом: 10-летние деревья диаметром 8 см по сравнению с 50-летними того же размера имеют массу ствола, меньшую на 19 %, массу ветвей, большую на 52% и массу хвои, большую в 1,2 раза.

При расчете регрессий для годовичного прироста фракций фитомассы (Z_i , кг) деревьев за основу взята структура уравнения (4). После кодирования двух регионов бинарной переменной X (для культур омской лесостепи $X=0$, для тургайской сухой степи $X=1$) рассчитана цепочка уравнений:

$$\begin{aligned} \ln Z_S &= f [X, \ln A, \ln D, \ln H, (\ln D \ln H)] \rightarrow \ln Z_{SB} = f [X, \ln D, (\ln D \ln H), Z_S] \rightarrow \\ &\rightarrow \ln Z_B = f [X, \ln A, \ln D, \ln H, (\ln D \ln H)] \rightarrow \\ &\rightarrow \ln Z_F = f [X, \ln A, \ln D, \ln H, (\ln D \ln H), \ln Z_B], \end{aligned} \quad (5)$$

где Z_S, Z_{SB}, Z_B, Z_F – годовичный прирост массы фракций дерева, соответственно древесины стволов, коры стволов, ветвей и хвои, кг.

При расчете уравнений (5) установлено, что равновеликие деревья в культурах сосны двух регионов по годовичному приросту массы древесины стволов, коры стволов, ветвей и хвои деревьев различаются статистически достоверно (значимость $t_{факт}$ констант при X составляет соответственно -19,3; -6,1; +2,2; -6,8, что превышает $t_{05} = 2,0$). Уравнения (5) характеризуются высокой степенью адекватности и имеют R^2 в пределах от 0,922 до 0,957.

Путем последовательного табулирования рекурсивной цепочки уравнений (5) получены таблицы для оценки годовичного прироста надземной фитомассы деревьев, которые дают количественную характеристику различий двух регионов по структуре годовичного прироста фитомассы деревьев:

Таблица 3

Фрагмент таблицы для подеревной оценки фракционного состава надземной фитомассы культур сосны омской лесостепи и тургайской степи в абсолютно сухом состоянии, кг

Возраст, лет	Диаметр ствола, см	Фракция	Высота дерева, м					
			2	4	6	8	10	12
Омская лесостепь								
10	8	Ствол	-	4,072	5,647	7,121	8,524	9,874
		Кора	-	0,377	0,667	1,000	1,368	1,769
		Ветви	-	2,549	2,325	1,902	1,506	1,183
		Хвоя	-	3,709	2,869	2,353	1,999	1,739
		Итого	-	10,33	10,84	11,38	12,03	12,80
50	8	Ствол	2,870	5,019	6,959	8,776	10,51	-
		Кора	0,175	0,465	0,822	1,232	1,687	-
		Ветви	1,166	1,674	1,527	1,249	0,989	-
		Хвоя	2,426	1,663	1,287	1,055	0,897	-
		Итого	6,462	8,356	9,773	11,08	12,39	-
Тургайская сухая степь								
10	8	Ствол	-	4,072	5,647	7,121	8,524	9,874
		Кора	-	0,430	0,761	1,141	1,561	2,018
		Ветви	-	2,127	1,940	1,587	1,257	0,987
		Хвоя	-	3,326	2,573	2,110	1,793	1,560
		Итого	-	9,525	10,16	10,82	11,57	12,42
50	8	Ствол	2,870	5,019	6,959	8,776	10,51	-
		Кора	0,200	0,530	0,938	1,406	1,924	-
		Ветви	0,973	1,397	1,274	1,042	0,825	-
		Хвоя	2,175	1,492	1,154	0,946	0,804	-
		Итого	6,019	7,908	9,388	10,76	12,13	-

прирост массы стволов в культурах омской лесостепи выше соответствующего показателя тургайской степи на 75%, масса хвои выше на 37%, а масса ветвей, напротив, ниже на 16 % по сравнению с соответствующими показателями культур тургайской степи.

В пределах одного региона структура годичного прироста фитомассы равновеликих деревьев изменяется с возрастом в значительно большей степени, нежели структура валовых показателей фитомассы: 10-летние деревья диаметром 8 см по сравнению с 50-летними того же размера имеют прирост массы ствола, больший в 27 раз, массы ветвей, больший в 22 раза и массы хвои, больший в 7 раз. Это явление по приростам, как и по показателям фитомассы, связано с изменением рангового положения дерева одного и того же размера в молодняках и древостоях старших возрастов.

С целью установить, насколько велики различия квалитетических показателей надземной фитомассы в ее полном фракционном составе в насаждениях разных регионов, нами выполнено специальное исследование названных показателей, полученных в культурах сосны Саргатского лесхоза в количестве 71 модельного дерева и Семиозерного лесхоза в количестве 92 модельных деревьев. Возраст деревьев – от 9 до 50 лет. Кроме того, были привлечены предоставленные нам Е.В. Белоусовым данные 38 модельных деревьев на 5 пробных площадях, заложенных в культурах сосны в возрасте от 15 до 32 лет в Сухоложском лесхозе, расположенном в 120 км к востоку от Екатеринбурга (57° с.ш., 62° в.д.) в сосново-березовом предлесостепном округе Зауральской равнинной провинции Западно-Сибирской равнинной лесорастительной области (Колесников и др., 1974).

Поскольку фактические данные квалитетических показателей варьируют не только в связи с принадлежностью культур к различным природным регионам, но и в связи с возрастом и размерами деревьев, то сопоставление показателей по регионам выполнено не на уровне массивов данных, а на уровне уравнений зависимости квалитетических показателей от возраста и диаметра деревьев с использованием блока фиктивных переменных X_1 ; X_2 . Последний представляет собой код, которым обозначена принадлежность данных к тому или иному региону: для культур сосны Саргатского лесхоза $X_1 = 0$; $X_2 = 0$, для Семиозерного лесхоза $X_1 = 1$; $X_2 = 0$ и для Сухоложского лесхоза $X_1 = 0$; $X_2 = 1$.

Расчитаны уравнения

$$Y = a_0 + a_1A + a_2D + a_3Cr + a_4X_1 + a_5X_2, \quad (6)$$

где Y – либо содержание абсолютно сухого вещества S , в долях единицы (отдельно для хвои, ветвей, древесины ствола и коры ствола при соответствующих обозначениях: S_f , S_{br} , S_w и S_b), либо базисная (условная) плотность ρ как отношение массы образца в абсолютно сухом состоянии к

его объему в свежем состоянии (отдельно для древесины и коры ствола при соответствующих обозначениях: ρ_w и ρ_b , т/м³); Cr – номер секции кроны (1, 2 и 3 соответственно для верхней, средней и нижней).

Уравнения (6) объясняют от 45 до 95 % изменчивости квалитетических показателей фитомассы деревьев. Квалитетические показатели фитомассы культур Саргатского лесхоза по отношению к культурам Семиозерного и Сухоложского разнятся соответственно (табл. 4): S_f на +16 и +26 %, S_{br} на +15 и +27%, S_w на –2 и +2%, S_b на –28 и –11%, ρ_w на –1 и –8% и ρ_b на +8 и +8%.

Таблица 4

Фрагмент таблицы для оценки квалитетических показателей, полученных табулированием уравнений (6) по задаваемым значениям A , D и Cr

A, лет	D, см	Крона				Ствол			
		Sf			Sbr	Sw	Sb	ρ_w	ρ_b
		1*	2*	3*					
Саргатский лесхоз (Омская лесостепь)									
10	4	0,521	0,540	0,558	0,549	0,374	0,401	0,365	0,284
	12	0,521	0,540	0,558	0,525	0,335	0,384	0,344	0,256
30	4	0,548	0,566	0,585	0,578	0,496	0,436	0,398	0,329
	12	0,548	0,566	0,585	0,554	0,456	0,420	0,377	0,301
50	6	0,575	0,593	0,612	0,600	0,607	0,468	0,425	0,367
	12	0,575	0,593	0,612	0,582	0,578	0,455	0,409	0,346
Семиозерный лесхоз (Тургайская сухая степь)									
10	4	0,437	0,456	0,474	0,463	0,383	0,519	0,361	0,260
	12	0,437	0,456	0,474	0,439	0,344	0,502	0,340	0,232
30	4	0,464	0,483	0,501	0,492	0,504	0,555	0,394	0,305
	12	0,464	0,483	0,501	0,468	0,465	0,538	0,373	0,277
50	6	0,491	0,510	0,528	0,515	0,616	0,586	0,421	0,343
	12	0,491	0,510	0,528	0,497	0,587	0,573	0,406	0,322
Сухоложский лесхоз (Зауральская предлесостепь)									
10	4	0,378	0,397	0,415	0,399	0,366	0,447	0,335	0,260
	12	0,378	0,397	0,415	0,375	0,327	0,430	0,314	0,232
30	4	0,405	0,424	0,442	0,428	0,488	0,482	0,368	0,305
	12	0,405	0,424	0,442	0,404	0,448	0,466	0,347	0,277
50	6	0,432	0,450	0,469	0,451	0,599	0,514	0,395	0,343
	12	0,432	0,450	0,469	0,433	0,570	0,501	0,380	0,322
	28	0,432	0,450	0,469	0,385	0,492	0,468	0,338	0,266

*1, 2 и 3 – номера секций кроны Cr от вершины к основанию.

Влияние размера дерева одного и того же возраста и региона также существенное, и показатели при $D=24$ см отличаются от таковых при $D=4$ см: Sbr на -11%, Sw на -21%, Sb на -10%, ρ_w на -11% и ρ_b на -25%. Величина Sf не зависит от диаметра дерева. Влияние возраста дерева при одном и том же диаметре независимо от региона характеризуется следующими отличиями для возраста $A=50$ лет по сравнению с возрастом $A=10$ лет: Sf на +9%, Sbr на +10%, Sw на +42%, Sb на -16%, ρ_w на +16% и ρ_b на +26%.

Таким образом, квалитетические показатели фитомассы деревьев могут существенно варьировать в зависимости от возраста и ценоотического положения дерева в древостое и значительно отличаться в насаждениях одного происхождения и морфоструктуры, но в разных географических условиях, вследствие различий климатических и эдафических факторов воздействия.

ГЛАВА 5. ФИТОМАССА И ПЕРВИЧНАЯ ПРОДУКЦИЯ ДРЕВОСТОЕВ В КУЛЬТУРАХ СОСНЫ ЛЕСОСТЕПНОЙ И СТЕПНОЙ ЗОН И НОРМАТИВЫ ИХ ОЦЕНКИ

Фактические данные фитомассы и ее годичного прироста получены на пробных площадях в культурах сосны двух регионов – омской лесостепи и тургайской сухой степи по возрастному градиенту для наиболее распространенного класса бонитета и по эдафическому градиенту для наиболее распространенного возраста насаждений (табл. 5). В табл. 5 приняты следующие обозначения таксационных показателей древостоев: H_{100} – класс бонитета, выраженный средней высотой древостоя в возрасте 100 лет по бонитетной шкале М.М. Орлова, м; A – возраст древостоя, лет; G – сумма площадей сечений, $m^2/га$; D_{cp} – средний диаметр стволов, см; H_{cp} – средняя высота древостоя, м; M – запас стволовой древесины в коре, $m^3/га$.

Для аналитического описания динамики фитомассы и ее годичного прироста в культурах принята структура модели

$$\ln P_i \text{ или } \ln Z_i = a_0 + a_1 \ln A + a_2 (\ln A)^2 + a_3 \ln H_{100} + a_4 X + a_5 X (\ln A), \quad (7)$$

где P_i – фитомасса насаждения по фракциям: ствол в коре, кора стволов, ветви, хвой и корни, соответственно P_{ST} , P_B , P_{BR} , P_F и P_R , т/га; Z_i – годичный прирост фитомассы по фракциям: ствол в коре, кора стволов, ветви, хвой и корни, соответственно Z_{ST} , Z_B , Z_{BR} , Z_F и Z_R , т/га; X – бинарная переменная: для культур Саргатского лесхоза $X=0$ и для культур Семиозерного лесхоза $X=1$.

Структура уравнений (7) принята и для аналитического описания возрастной динамики таксационных показателей, обычно входящих в традиционные таблицы хода роста – H_{cp} , D_{cp} , G , M .

Таблица 5
Фитомасса и ее годичный прирост (первичная продукция) культур сосны в абсолютно сухом состоянии, т/га

№ п/п	класс бонитета / H_{100}	A, лет	G, $m^2/га$	N, экз./га	D_{cp} , см	H_{cp} , м	M, $m^3/га$	Фитомасса, т/га						Первичная продукция, т/га									
								Стволы			Хвоя	Корни		Стволы		Хвоя	Ветви		Корни	Стволы		Хвоя	Корни
								всего	кора	в т.ч тонкие		всего	в т.ч тонкие	всего	кора		всего	в т.ч тонкие		всего	кора		
Саргатский лесхоз																							
Возрастной ряд для Ia – I классов бонитета																							
1	Ia / 28,5	10	5,80	2264	5,7	4,5	17,9	6,14	2,03	2,06	3,38	14,0	10,8	1,19	0,194	0,723	1,69	10,8					
2	Ia / 31,0	21	28,1	2945	11,0	10,4	143,0	48,9	5,84	10,39	7,16	50,9	36,7	5,48	0,521	1,448	2,88	36,7					
3	Ia / 33,0	30	36,6	1925	15,6	14,8	282,0	88,3	8,71	8,23	8,04	64,3	44,7	6,99	0,552	1,676	2,69	44,7					
4	I / 29,5	40	34,9	1836	15,6	16,6	317,6	110,2	7,81	11,90	10,6	52,1	34,9	4,54	0,322	0,817	5,33	34,9					
5	I / 28,3	50	42,8	1603	18,4	18,7	288,5	113,4	7,81	12,55	9,33	45,7	29,8	3,79	0,265	0,694	3,34	29,8					
Эдафический ряд для возраста 20 лет																							
6	Ia / 31,2	20	21,0	2636	10,1	10,2	132,4	40,9	4,30	12,66	10,58	37,4	27,1	5,49	0,578	1,283	4,24	27,1					
7	I / 30,0	20	22,1	1873	12,3	8,9	88,9	37,8	4,30	18,78	16,03	47,6	36,2	4,61	0,525	1,768	6,24	36,2					
8	II / 26,0	20	16,5	2129	9,9	6,8	50,9	22,3	2,84	9,05	8,48	35,3	27,8	2,75	0,350	0,776	3,08	27,8					
9	III / 20,0	20	9,50	1794	8,2	5,1	27,1	10,8	1,49	2,90	8,85	20,6	16,8	1,10	0,152	0,295	2,85	16,9					
Семиозерный лесхоз																							
Возрастной ряд для II класса бонитета, свежий бор																							
10	II / 23,5	9	5,66	11530	2,5	2,6	16,7	5,14	1,24	1,82	4,78	9,81	8,21	1,65	0,250	0,528	1,72	8,21					
11	II / 25,0	13	14,0	9200	4,4	4,3	43,3	14,3	2,69	4,55	6,97	27,2	22,0	2,15	0,260	1,045	2,69	22,0					
12	II / 25,0	19	21,8	4450	7,9	6,1	89,7	33,5	6,32	8,43	8,62	42,3	32,6	1,03	0,110	1,131	3,38	32,6					
13	II / 26,0	22	20,9	4860	7,4	8,1	125	43,7	6,00	6,53	7,10	42,2	31,0	1,25	0,080	1,000	2,56	31,0					
14	II / 25,4	50	36,4	1810	16,0	16,4	274	102,6	8,92	7,13	2,82	52,1	34,9	0,61	0,020	0,553	0,93	34,9					
Эдафический ряд для возраста 22 года																							
15	Ia / 30,8	24	46,2	5340	10,5	11,4	299	105,0	11,73	18,69	13,69	77,1	54,3	2,27	0,110	4,970	5,95	54,3					
16	I / 28,5	22	35,3	3850	10,8	9,3	191	63,7	7,40	12,70	10,97	68,8	51,2	1,57	0,100	1,900	4,64	51,2					
17	II / 26,0	20	24,3	6330	7,0	7,0	100	34,04	5,75	5,80	6,11	42,1	31,7	0,95	0,070	0,940	2,37	31,7					
18	III / 21,4	21	15,1	3240	7,7	5,5	55,2	19,1	3,88	6,41	5,35	28,4	22,2	0,60	0,070	0,800	1,91	22,2					
19	IV / 19,6	21	15,1	5180	6,1	4,8	48,1	18,6	3,61	4,62	4,33	28,8	22,9	0,45	0,050	0,550	1,52	22,9					

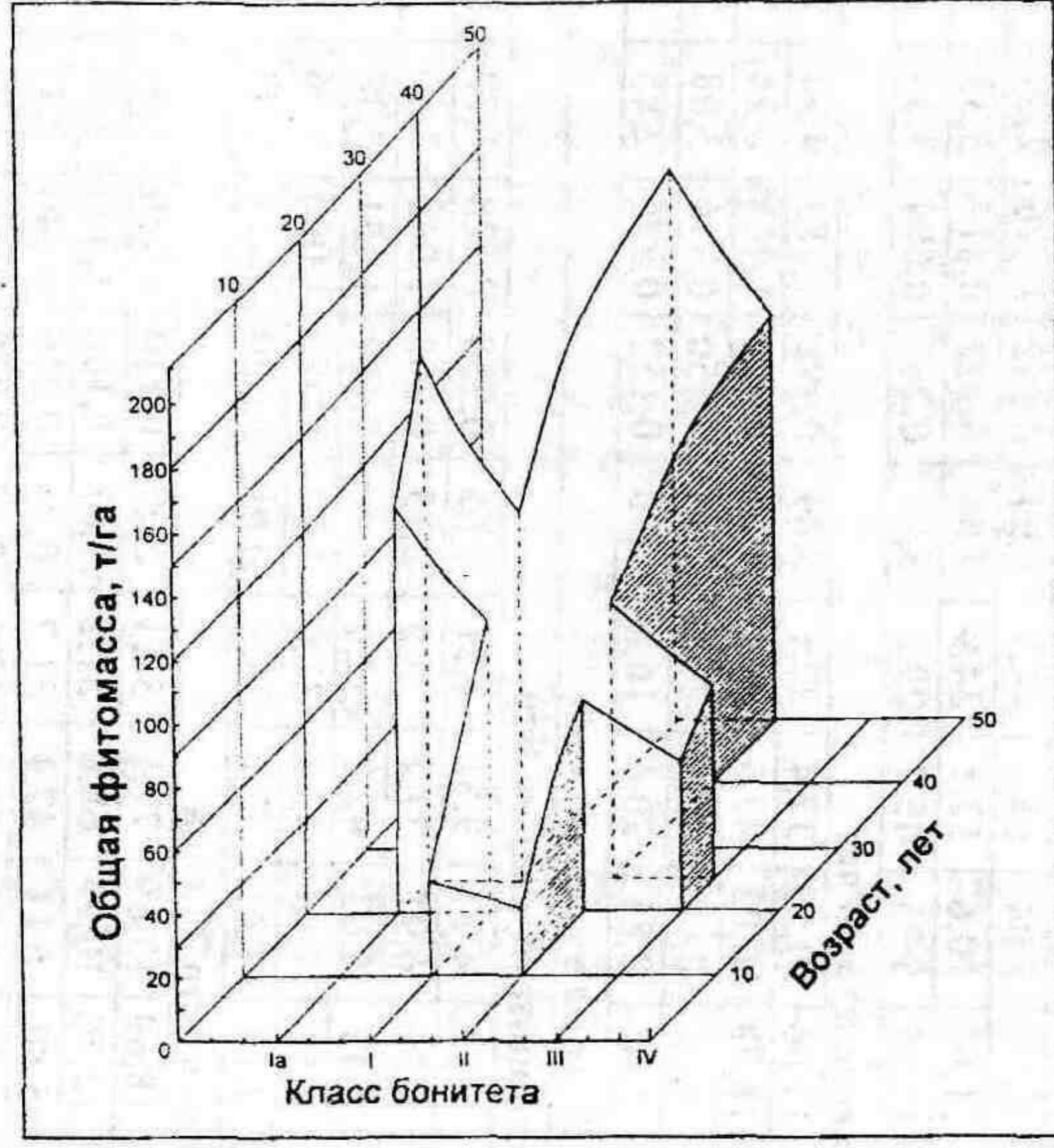


Рис. Графическая интерпретация возрастного и эдафического градиентов полной фитомассы в культурах сосны Саргатского лесхоза, полученных путем табулирования уравнений (7) по фактическим значениям возраста и класса бонитета, приведенным в таблице 5.

Уравнения (7) характеризуются высокими значениями R^2 и объясняют изменчивость таксационных показателей в диапазоне от 99,6 (для средней высоты) до 97,2 % (для среднего диаметра). Изменчивость показателей фитомассы в лучшем случае объясняется на 99,2 % (для массы стволов), в худшем – на 68,3 % (для массы хвои). Изменчивость показателей прироста фитомассы – соответственно на 94,3 и 65,3 %.

После табулирования уравнений (7) по фактическим значениям возраста древостоя A , высоты в 100 лет H_{100} , принятым при планировании пассивного эксперимента (см. табл. 5), и бинарной переменной X , составлены таблицы возрастной динамики фитомассы и ее годичного прироста в культурах сосны двух регионов (фрагмент одной из них дан в табл. 6) и построены трехмерные графики, дающие общее наглядное представление о характере зависимостей, один из которых для культур Саргатского лесхоза дан на рисунке.

Густота N в таблицах получена расчетным путем по табличным значениям G и D_{cp} .

В таблице 6 прирост корней превосходит прирост хвои в 7-9 раз, что несколько выше результатов, полученных для лесобразующих пород Западной Европы, согласно которым названное превышение 5-6-кратное (Santantonio, 1979; Cannell, 1989). Причина - дефицит влаги в сухой степи.

Таблица 6

Фрагмент таблиц возрастной динамики годичного прироста фитомассы культур сосны Саргатского и Семиозерного лесхозов

Возраст, лет	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Сумма площадей сечений, м ² /га	Густота, экз/га	Запас, м ³ /га	Годичный прирост фитомассы, т/га						
						Стволы		Хвоя	Ветви	Надземная	Корни	Всего
						всего	кора					
Саргатский лесхоз, класс бонитета I												
10	4,4	5,5	5,9	2470	18	1,74	0,263	1,63	0,72	4,35	11,0	15,3
15	6,5	8,3	12,7	2331	48	2,67	0,345	2,95	1,04	7,00	21,6	28,6
20	8,5	10,6	19,3	2198	86	3,36	0,380	3,76	1,13	8,64	29,5	38,1
25	10,4	12,4	25,1	2079	128	3,86	0,388	4,10	1,10	9,45	33,9	43,3
30	12,2	13,9	29,8	1973	171	4,21	0,381	4,12	1,01	9,72	35,6	45,3
35	13,9	15,0	33,4	1880	213	4,44	0,367	3,95	0,90	9,66	35,4	45,1
40	15,5	16,0	36,1	1797	251	4,59	0,348	3,68	0,78	9,40	34,1	43,6
45	17,1	16,8	37,9	1722	287	4,67	0,327	3,37	0,68	9,05	32,2	41,3
50	18,7	17,4	39,1	1654	319	4,71	0,307	3,05	0,58	8,65	29,9	38,6
Семиозерный лесхоз, класс бонитета II												
10	3,6	5,0	4,5	10668	11	1,70	0,244	2,25	0,76	4,97	12,0	17,0
15	5,3	7,5	9,6	7006	30	1,44	0,152	2,87	1,10	5,56	23,7	29,3
20	6,9	9,6	14,7	5108	54	1,19	0,099	2,85	1,21	5,34	32,3	37,6
25	8,4	11,2	19,1	3958	80	0,98	0,067	2,56	1,17	4,78	37,1	41,9
30	9,9	12,6	22,6	3193	107	0,82	0,047	2,20	1,07	4,14	39,0	43,1
35	11,3	13,6	25,4	2650	133	0,69	0,034	1,85	0,95	3,52	38,9	42,4
40	12,6	14,5	27,4	2248	157	0,58	0,025	1,53	0,83	2,98	37,4	40,4
45	13,9	15,2	28,8	1939	179	0,50	0,019	1,27	0,72	2,51	35,3	37,8
50	15,2	15,7	29,7	1695	199	0,43	0,015	1,05	0,62	2,12	32,8	34,9

В лесной таксации общеизвестна обратно пропорциональная зависимость процента текущего прироста стволов от возраста, выражаемая обычно гиперболической функцией. Эту зависимость распространяют на определение показателя, представляющего собой частное от деления годового прироста той или иной фракции фитомассы Z_i (т/га) на запас стволовой древесины (M , м³/га), как функции возраста древостоя (A , лет) (Замолотчиков, Уткин, 2000; Уткин и др., 2003).

Наряду с этим известна взаимосвязь величины прироста фитомассы дерева с массой ассимиляционного аппарата (Hartig, 1896; Busse, 1930; Яблоков, 1934; Burger, 1929-1953; Kittredge, 1944; Полякова, 1954; Ovington, 1957) которую можно выразить зависимостью (Усольцев, 1997; Усольцев и др., 2001; Usoltsev et al., 2002):

$$\ln Z_i = f(\ln P_F), \quad (8)$$

где P_F - наличная масса хвои, т/га.

В нашей работе зависимость (8) корректируется некоторыми таксационными показателями, обозначенными в таблице 5 и в уравнениях (10) как A , H_{cp} , D_{cp} , M . В соответствии с двумя методами аналитического описания прироста фитомассы по совокупности 19 его определений (см. табл. 5) рассчитаны системы уравнений (9) и (10):

$$Z_i/M = a_0 + a_1(1/A) + a_2X, \quad (9)$$

$$\ln Z_i = f(\ln P_F, \ln A, \ln H_{cp}, \ln D_{cp}, \ln M, X), \quad (10)$$

где Z_i - годичный прирост массы i -й фракции (стволов, ветвей, хвои и корней, соответственно Z_{ST} , Z_{BR} , Z_F и Z_R), в абсолютно сухом состоянии, т/га; X - бинарная переменная: для культур Саргатского лесхоза $X=0$ и для культур Семиозерного лесхоза $X=1$.

Судя по коэффициентам R^2 (0,854-0,511 в первом случае и 0,903-0,941 - во втором), зависимости (9) по сравнению с (10) детерминированы в среднем ниже на 20% (с колебаниями по фракциям в пределах от 5 до 46 %), а для прироста хвои уравнение (10) (т.е. зависимость лишь от наличной массы хвои) дает коэффициент детерминации на 34 % более высокий, чем (9), описывающее зависимость от двух факторов - возраста и запаса древостоя.

Преимущество второго метода перед первым по точности оценок подтверждается также расчетом ошибок (табл. 7).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Поскольку в лесном фонде страны значительная доля приходится на смешанные и сложные насаждения, а имеющиеся нормативы биопродуктивности на 1 га предназначены для простых чистых насаждений, для оценки углерододепонирующей способности насаждений в процессе лесоустройства необходимы таблицы для подервной таксации фитомассы и

Ошибки (\pm) определения годового прироста фитомассы в культурах сосны по двум вариантам расчета, соответственно по (9) и (10), в процентах к фактическому значению

Фракция фитомассы	1-й метод Модели (9)		2-й метод Модели (10)	
	Для одного определения	Для всех случаев	Для одного определения	Для всех случаев
Хвоя	63,5	14,9	11,5	2,72
Ветви	27,1	6,22	22,0	5,05
Ствол	36,7	8,65	27,0	6,37
Корни	38,9	8,93	11,7	2,68

ее годового прироста, чтобы по данным пересчетов деревьев в таксационных выделах можно было получить значения фитомассы и ее годового прироста на 1 га. Подобные таблицы с тремя входами - возраст, диаметр и высота дерева - нами составлены для культур сосны обыкновенной в возрасте от 10 до 50 лет в двух регионах - омской лесостепи (Саргатский лесхоз) и тургайской сухой степи (Семиозерный лесхоз). На статистически достоверном уровне установлено, что масса коры в культурах омской лесостепи выше соответствующего показателя тургайской степи на 12%, а масса кроны, напротив, ниже - по хвое на 11% и ветвям на 20 % по сравнению с соответствующими показателями культур в тургайской степи. По массе стволов различия не достоверны.

По структуре годового прироста фитомассы деревьев соотношения между двумя регионами иные: прирост массы стволов в культурах омской лесостепи выше соответствующего показателя в тургайской степи на 75%, масса хвои выше на 37%, а масса ветвей, напротив, ниже на 16 % по сравнению с соответствующими показателями культур в тургайской степи.

2. Исследование квалиметрических показателей фитомассы культур Саргатского лесхоза по отношению к культурам Семиозерного и Сухоложского (Свердловская область, предлесостепь) на статистически достоверном уровне выявило следующие отличия: содержание сухого вещества в хвое различается соответственно на +16 и +26 %, в ветвях - на +15 и +27%, в древесине стволов - на -2 и +2%, в коре стволов на -28 и -11%, базисная плотность древесины стволов на -1 и -8% и базисная плотность коры стволов на +8 и +8%. Квалиметрические показатели фитомассы деревьев существенно варьируют в зависимости от возраста и ценологического положения дерева в древостое и значительно отличаются в насаждениях

одной морфоструктуры, но в разных географических условиях, вследствие различий климатических и эдафических факторов воздействия.

3. Фактические данные фитомассы и ее годичного прироста получены на 19 пробных площадях в культурах сосны омской лесостепи и тургайской сухой степи по возрастному градиенту для наиболее распространенного класса бонитета и по эдафическому градиенту для наиболее распространенного возраста насаждений. Принята двухфакторная зависимость таксационных показателей, фитомассы и ее годичного прироста на 1 га от возраста и класса бонитета. Полученные уравнения объясняют изменчивость таксационных показателей в диапазоне от 99,6 (средняя высота) до 97,2 % (средний диаметр). Изменчивость показателей фитомассы объясняется на 99,2-68,3 %, а показателей прироста фитомассы – соответственно на 94,3- 65,3 %.

4. Путем последовательного табулирования уравнений для таксационных показателей, затем для показателей фитомассы и, наконец, для показателей годичного прироста фитомассы, составлены таблицы возрастной динамики фитомассы и ее годичного прироста для классов бонитета от Ia до IV. Установлено, что фитомасса культур сосны на 1 га, одинаковая в обоих регионах в возрасте 10 лет, по мере повышения возраста различается во все возрастающих размерах: в возрасте 30 лет фитомасса культур в омской лесостепи по сравнению с культурами тургайской сухой степи выше в 1,5 раза, а в возрасте 50 лет – в 2,0 раза.

5. При аналитическом описании годичного прироста фитомассы от определяющих факторов принимается обычно зависимость относительного прироста от возраста древостоя. Нами предложена иная структура модели, в которой годичный прирост фитомассы анализируется как функция наличного запаса хвои и основных таксационных показателей древостоя в виде многофакторных регрессий. Установлено, что во втором случае коэффициент детерминации выше, чем в первом, в среднем на 20 %, а по годичному приросту хвои – на 34 %. Ошибка определения годичного прироста во втором случае меньше, чем в первом, для прироста хвои, ветвей, стволов и корней соответственно в 5,5; 1,2; 1,4 и 3,3 раза.

Таким образом, при определении годичного прироста фитомассы насаждений по полному фракционному составу, преимущество по точности имеет второй (биологически обусловленный) вариант, в котором продукция фитомассы ставится в зависимость, прежде всего, от массы ассимиляционного аппарата. Это необходимо учитывать при расчетах депонирования углерода насаждениями на лесопокрытых площадях.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. Усольцев В. А. и др. Таблицы биопродуктивности естественных сосняков Северной Евразии и их географический анализ / В. А. Усольцев, О. А. Петелина, Л. И. Аткина, И. В. Платонов, Е. В. Белоусов, В.В. Терентьев, **Н. С. Ненашев** // Леса Урала и хоз-во в них. Вып. 23. Екатеринбург: УГЛТУ, 2003. С. 122-134.

2. Усольцев В.А. и др. 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, ч. 1. Белгород, 2004. С. 42-44.

3. Усольцев В.А. и др. 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, ч. 1. Белгород, 2004. С. 44-46.

4. Усольцев В.А. и др. Способ приведения фактических данных о фитомассе к сопоставимому по экорегионам виду и закономерности ее географии на примере культур сосны / В.А. Усольцев, С.В. Максимов, О.А. Петелина, **Н.С. Ненашев**, О.А. Крапивина, Е.В. Белоусов, В.В. Терентьев, А.В. Щукин, С.В. Залесов // Леса Урала и хоз-во в них. Вып. 24. Екатеринбург: УГЛТУ, 2004. С. 124-137.

5. Усольцев В. А. и др. 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. Вологда: ВолГТУ, 2004. С. 91-93.

6. Усольцев В.А. и др. 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. Вып. 8. Брянск: Ин-т экологии МИА, 2004. С. 65-67.

7. Усольцев В.А. и др. Формирование базы данных о фитомассе лесов, нормальная и предельная продуктивность, ее география / Усольцев В.А., О.А.Петелина, О.А.Ефименко, О.А.Крапивина, А.В.Щукин, И.В.Платонов, В.В.Терентьев, Е.В.Белоусов, **Н.С.Ненашев** // Научные труды. Выпуск 3. Екатеринбург: УГЛТУ, 2004. С. 12-16.

8. Усольцев В.А. и др. Оценка запасов углерода и углеродно-кислородного бюджета лесных экосистем Уральского региона/ В.А.Усольцев, В.И.Марковский, О.А.Крапивина, А.В.Щукин, И.В.Платонов, **Н.С.Ненашев**, Е.В.Белоусов, В.В.Терентьев // Региональный конкурс РФФИ «Урал», Свердлов-

ловская область. Результаты научных работ, полученные за 2003 г. Екатеринбург: Региональный научно-технический центр, 2004. С. 510-515.

9. Усольцев В. А. и др. Биологическая продуктивность культур сосны в Омской области / В. А. Усольцев, **Н. С. Ненашев**, Е. В. Белоусов, Н. Ю. Плесовских // Актуальные проблемы лесного комплекса. Вып. 9. Брянск: БГИТА, 2004. С.60-64.

10. **Ненашев Н.С.** и др. Сравнительный анализ годичной продукции сосняков Урала и Западной Сибири/Н.С.Ненашев, Е.В.Белоусов, В.В.Терентьев, И.В.Платонов, В.А.Усольцев // Матер. Всероссийской н.-т. конференции студентов и аспирантов. Екатеринбург: УГЛТУ, 2005. С.164-165.

11. Усольцев В.А. и др. База данных о первичной продукции сосняков Евразии / В.А. Усольцев, **Н.С. Ненашев**, Е.В. Белоусов, В.В. Терентьев // Социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса. Екатеринбург: УГЛТУ, 2005. С. 212-213.

12. Усольцев В.А. и др. Сравнительный анализ фитомассы культур сосны Урала и Западной Сибири / В.А. Усольцев, **Н.С. Ненашев**, Е.В. Белоусов, В.В. Терентьев, О.А. Петелина // Социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса. Екатеринбург: УГЛТУ, 2005. С. 213-214.

13. Усольцев В.А. и др. Оценка двух способов эмпирического моделирования первичной продукции на примере северных лесов / В.А. Усольцев, **Н.С. Ненашев**, В.В. Терентьев, В.А. Сопига, Е.В. Белоусов // Экологические проблемы Севера. Вып. 8. Архангельск, АГТУ, 2005. С. 98-100.

14. Усольцев В.А. и др. Плотность и влажность фракционного состава фитомассы как необходимые характеристики при оценке углеродного пула лесов / В.А. Усольцев, Е.В. Белоусов, **Н.С. Ненашев**, В.В. Терентьев, В.А. Сопига // Лесопользование, экология и охрана лесов: фундаментальные и прикладные аспекты. Томск: ТГУСУР, 2005. С. 143-145.

15. Усольцев В.А. и др. Биологическая продуктивность сосняков естественного и искусственного происхождения в Тургайском прогибе /В.А.Усольцев, **Н.С.Ненашев**, В.В.Терентьев, Е.В.Белоусов, И.В.Платонов //Актуальные проблемы лесного комплекса. Вып.10. Брянск: БГИТА, 2005. С.67-69.

16. Усольцев В.А. и др. Сравнительный анализ надземной фитомассы культур сосны Урала и Западной Сибири / В.А. Усольцев, **Н.С. Ненашев**, Е.В. Белоусов, С.В. Залесов, А.А. Терин, Г.Г. Терехов, В.В. Терентьев // Изв. вузов. Лесной журнал. 2005. № 3. С. 34-42.