

На правах рукописи



Сальникова Ирина Сергеевна

**СТРУКТУРА И ДИНАМИКА ФИТОМАССЫ ДРЕВЕСНОГО
ПОЛОГА В СОСНЯКАХ СРЕДНЕГО УРАЛА**

06.03.02. – Лесоустройство и лесная таксация

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

14.14.05

Екатеринбург, 2005

Работа выполнена на кафедре лесной таксации и лесоустройства Уральского государственного лесотехнического университета

Научный руководитель: доктор сельскохозяйственных наук, профессор З.Я. Нагимов

Официальные оппоненты: доктор сельскохозяйственных наук, профессор А.А. Гурский

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент Кряжевских Н.А.

Ведущая организация: Ботанический сад УрО РАН

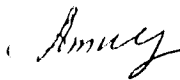
Защита диссертации состоится 26 мая 2005 г. в 10:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.281.01 при Уральском государственном лесотехническом университете по адресу: 620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 36.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Уральского государственного лесотехнического университета.

Автореферат разослан "15" апреля 2005 г.

Отзывы на реферат просим направлять в двух экземплярах с заверенными печатью подписями по адресу: 620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37. Ученому секретарю диссертационного совета.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор сельскохозяйственных наук,
профессор

 Л.И.Аткина

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. На современном этапе во взаимоотношениях человека с лесом наметилась смена приоритетов – переход от ресурсного пользования лесом к устойчивому управлению им в рамках экологических систем. В управлении лесами на первый план выступают задачи поддержания и сохранения продукционной способности, биоразнообразия, защитных и социальных функций лесов, а также их вклада в экологические процессы.

Современная технология лесоустройства не позволяет эффективно решать биосферные и экологические проблемы различного уровня. Получаемые при лесоустроительных работах материалы содержат количественную информацию только о запасах стволовой древесины и краткие сведения о нижних ярусах растительности описательного характера. В то же время средообразующие, защитные и социальные функции лесов тесно связаны с количественными и качественными характеристиками древесного полога, которые при лесоустройстве практически не оцениваются. Одним из сдерживающих факторов здесь является отсутствие общепризнанных методик и нормативной базы по учету крон и их структурных частей. Поэтому в свете современного представления о биосферостабилизирующей роли лесов актуальными становятся исследования фитомассы крон на уровне отдельных деревьев и древостоев, а также разработка лесотаксационных нормативов по ее оценке.

Цель и задачи исследования. Основной целью работы явилось изучение структуры и закономерностей формирования фитомассы крон деревьев и древостоев в сосняках Среднего Урала и разработка на этой основе соответствующих региональных лесоучетных и лесохозяйственных нормативов.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- оценка строения кроны деревьев сосны;
- исследование связей между таксационными показателями деревьев и фитомассой их крон;
- изучение зависимости запасов фитомассы крон от таксационных показателей древостоев;
- выявление закономерностей формирования фитомассы крон деревьев и древостоев сосны;
- обоснование и разработка лесоучетных нормативов по оценке фитомассы крон деревьев и древостоев.

Научная новизна. Изучены и выявлены закономерности распределения количества ветвей первого порядка по диаметру, длине и массе. Выявлены особенности формирования фракций фитомассы крон с учетом условий местопроизрастания, возраста и рангового положения деревьев. Обоснована возможность использования возраста и линейных размеров крон в нормати-

вах для оценки фитомассы крон и их структурных частей. Разработаны оригинальные модели фракций фитомассы крон деревьев и древостоев. Предложен метод дополнения таблиц объемов стволов данными по фитомассе крон. Разработаны уравнения переводных коэффициентов для составления повыведельных банков данных по фитомассе.

Практическая значимость. Результаты исследований имеют методическое и нормативно-справочное значение и могут быть использованы при проведении научных, лесосчетных и лесохозяйственных работ. Для практического применения составлены несколько видов таблиц для оценки фракций фитомассы крон деревьев и древостоев сосны, регрессионные модели переводных коэффициентов фитомассы кроны. Разработанные нормативные материалы используются в лесхозах Свердловской области и внедряются Свердловской лесоустроительной экспедицией при устройстве лесов Урала.

На защиту выносятся следующие основные положения: закономерности строения крон деревьев сосны; эколого-ценотические закономерности формирования фитомассы крон деревьев; особенности структуры и возрастной динамики фитомассы полога сосновых древостоев; многофакторные уравнения фитомассы крон на уровне отдельных деревьев и древостоев.

Обоснованность и достоверность результатов исследований обеспечиваются анализом достаточного по объему экспериментального материала, собранного с использованием обоснованных методик; применением современных математических методов, компьютерной техники и пакетов прикладных программ; проверкой разработанных нормативно-справочных материалов в полевых условиях.

Апробация работы. Основные результаты исследований представлялись и обсуждались на международной (Томск, 2005), региональной (Екатеринбург, 1996) научно-практических конференциях, а также на научно-технических конференциях студентов и аспирантов УГЛТУ (1996-2005).

Личный вклад автора. Сбор экспериментального материала в полевых условиях, лабораторный анализ образцов выполнены лично автором или при его непосредственном участии. Получение лесоводственно-таксационной характеристики древостоев, разработка уравнений и нормативов, интерпретация полученных результатов, формулировка выводов и предложений сделаны лично автором.

Публикации. Основные положения диссертации изложены в 10 печатных работах.

Структура и объем работы. Диссертация изложена на 170 страницах машинописного текста, состоит из введения, 6 глав, заключения и 3 приложений. Список использованной литературы включает 233 наименования, в том числе 43 иностранных. Текст иллюстрирован 27 таблицами и 16 рисунками.

1. ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ И СОСНОВЫХ ЛЕСОВ РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ

Район исследований в соответствии с лесорастительным районированием Б.П. Колесникова (1969) расположен в Зауральской холмисто-предгорной и Зауральской равнинной провинциях в пределах южной подзоны лесной (таежной) ландшафтно-географической зоны.

На основании литературных данных дано описание географического положения, климата, рельефа и почв района исследований. По материалам лесоустройства проведен детальный анализ лесного фонда.

Природные условия района обеспечивают нормальный рост и развитие насаждений средней и высокой производительности. В наибольшей степени они соответствуют биоэкологическим особенностям сосны. Сосновые насаждения в районе имеют наибольшее распространение (занимают около 50% лесопокрытой площади), представлены всеми возрастными группами и классами бонитета. Поэтому они выбраны в качестве объектов исследований.

2. СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

2.1. Основные этапы и направления изучения фитомассы древостоев

В изучении общей фитомассы деревьев и древостоев условно можно выделить несколько этапов. Для начального этапа характерны исследования фитомассы отдельно взятых насаждений (деревьев) и даже ее отдельных фракций (Harting, 1886; Flury, 1907; Burger, 1929, 1937, 1945; Яблоков, 1934; Коссович, 1940; Челядинова, 1941; Moeller, 1945; Георгиевский, 1948; Данилов, 1948; Молчанов, 1949). В этот период работы по определению фитомассы тех или иных частей деревьев в основном являлись составной частью физиологических, гидрологических и лесоводственных исследований.

Заметно оживилось изучение общей массы фитоценозов с середины 50-х годов. (Оскретков, 1956; Ovington, 1956; Молчанов, 1961; Протопопов, 1961; Смирнов, 1961; Родин, Базилевич, 1965; Протопопов, Горбатенко, 1967; и др.). Этому способствовали расширение и повышение качественного уровня биоэкологических исследований. Данный период характеризуется утверждением в лесной науке понятия «биологическая продуктивность» насаждений.

Мощным импульсом для развития исследований всей фитомассы деревьев и древостоев послужило принятие «Международной биологической программы» и международной программы «Человек и биосфера». В период их проведения (1965 – 1975 г.г.), а также в последующие годы были получены наиболее существенные результаты по данной проблеме (Поздняков, 1967; Ватковский, 1969; Уткин, 1970; Иванчиков, 1971; Молчанов, 1971; Смирнов, 1971; Штибе, 1967; Яновский, 1975; Габеев, 1976; Аткин, 1978, 1994; Семечкина, 1978; Соколов, 1978; Kreutzer, 1979; Deppe, 1980; Spank,

1982; Pellinen, 1984; Усольцев, 1985, 1988; Fiedler, 1987, Hoffmann, Krauss, 1988; Мамонов, 1991; Курбанов, 1994; и др.).

В последние годы исследования фитомассы активизировались в связи с необходимостью оценки поведения и роли лесных экосистем в условиях нарушения глобального цикла углерода и изменения климата (Кобак, 1988; Макаревский, 1991; Исасв и др., 1993; Алексеев, Бердси, 1994; Klimetzek, 1994; Kellomaki, Karjalainen, 1997; Швиденко, Нильсон, 1997; Усольцев, 1998, 2002; Курбанов, 2003; и др.).

2.2. Методы оценки фитомассы деревьев и древостоев

Точность результатов по оценке фитомассы в значительной мере определяется методами отбора и обработки модельных деревьев и формирования модельных частей отдельных фракций. В этом направлении значительные методические разработки выполнены А.А.Молчановым и В.В.Смирновым (1967), А.С.Аткиным (1974), М.Г.Семечкиной (1978), А.И.Уткиным (1982), В.Ф.Зинченко (1986.), Н.А.Луганским и З.Я.Нагимовым (1994).

Методические аспекты по вопросам описания зависимостей фитомассы от различных таксационных показателей, составления нормативов и таблиц фитомассы деревьев и древостоев приводятся в работах многих отечественных и зарубежных исследователей (Яблоков, 1934; Молчанов, 1949; Ovington, 1957; Семечкина, Зиганшин, 1973; Семечкина, 1978; Krueger, 1984; Онучин, Борисов, 1984; Онучин, 1985; Усольцев, 1985, 1988; Ильина и др., 1986; Pellinen, 1986; Fiedler, 1987; Hochbichler u.a., 1994; и др.).

В последние годы при изучении фитомассы деревьев и древостоев и составления нормативно-справочных материалов по ее оценке широко используется многомерный анализ (Токмурзин, Байзаков, 1970; Laar, 1973; Казимиров, Митруков, 1978; Spank, 1982; Усольцев, 1985, 1988, 1998; Pellinen, 1986; Heinsdorf, Krauss, 1990; Казимиров, 1995).

В целом проведенный анализ литературных данных позволяет сделать заключение, что многие вопросы, связанные с повышением точности оценки различных фракций фитомассы и изучением закономерностей их формирования в различных эколого-ценотических условиях в полной мере не решены, а некоторые нуждаются в конкретизации для исследуемого района. Особенно актуальны в современных условиях целенаправленные исследования фитомассы древесного полога. Исходя из этого составлена программа работ.

3. ПРОГРАММА, МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБЪЕМ ВЫПОЛНЕННЫХ РАБОТ

3.1. Программа исследований

В соответствии с целью исследований и поставленными задачами программа включала следующие вопросы: исследование распределения деревьев в естественных сосняках по диаметру и длине крон, изучение распределе-

ния ветвей в кронах деревьев сосны по линейным и весовым показателям; оценка факторов, определяющих количественные и качественные показатели фитомассы крон деревьев сосны и разработка на этой основе регрессионных уравнений и нормативов для научных и практических целей; исследование зависимостей фитомассы крон сосновых древостоев от их таксационных показателей и дополнение применяемых в районе таблиц хода роста данными по фитомассе; многомерная оценка переводных коэффициентов для составления поведельных банков данных по фитомассе.

3.2. Методика исследований

Сбор экспериментального материала осуществлялся методом пробных площадей, заложённых с учетом теоретических положений лесной таксации и ОСТ 5669-83. На всех пробных площадях после перечета для значительного числа растущих деревьев определялись высота стволов и линейные размеры крон, прирост ствола по диаметру, вычислялись площади питания построением полигонов роста (Stoehr, 1963). Для определения площадей питания была разработана специальная программа на языке программирования Turbo Pascal версии 7.0.

Модельные деревья отбирали в пределах всего диапазона варьирования их диаметров. У них кроме основных таксационных показателей определялись диаметр и длина кроны, класс роста и развития по Крафту и надземная фитомасса по фракциям (древесина и кора ствола, древесина и кора ветвей, хвоя, генеративные органы и отмершие ветви). Масса стволов в коре, крон, охвоенной части ветвей (древесной зелени) и отмерших ветвей в свежесрубленном состоянии определялась непосредственным взвешиванием, а масса хвой и генеративных органов – по навескам древесной зелени, взятых из нижней, средней и верхней частей кроны. В целях исследования строения крон для каждой живой ветви перед отделением древесной зелени определялись диаметр у основания, длина, общая масса, а после отделения – масса охвоенной части. Определение соотношений древесины и коры в стволе и ветвях, а также перевод фракций фитомассы в абсолютно сухое состояние производилось по пробным образцам.

Для определения запасов фракций фитомассы в свежем и абсолютно сухом состояниях данные модельных деревьев выравнивались в зависимости от их диаметров. По выровненным данным на основе перечета деревьев определялась фитомасса фракций для древостоя в целом.

Теоретические исследования проведены с применением методов математической статистики: теории распределений, корреляционного и регрессионного анализов. При многомерной оценке использовался шаговый регрессионный анализ (Дрейпер, Смит, 1973). Множественный регрессионный анализ выполнялся средствами статистико-графического пакета SYSTAT версии 5.0. Для статистической оценки разрабатываемых уравнений вычис-

лялись среднеквадратические и систематические ошибки, множественный коэффициент детерминации и достоверность констант по критерию Стьюдента. Из-за ограниченного объема в автореферате приводятся только коэффициенты детерминации (R^2) и среднеквадратические ошибки (δ , %). Для графического представления данных использовались средства построения диаграмм приложения Excel, входящего в пакет Microsoft Office.

3.3. Объем экспериментального материала и его характеристика

В ходе полевых работ нами было заложено 22 пробные площади. ими охвачены чистые сосновые древостои I-III классов возраста, I-V классов бонитета, с абсолютной полнотой от 9.9 до 39.31 м². На пробных площадях срублено и обмерено 156 модельных деревьев. Для анализа влажности и соотношений фракций фитомассы взято по 468 образцов древесины и коры неохвоенных и охвоенных ветвей и более 400 навесок хвой. Указанным экспериментальным материалом был дополнен банк данных по фитомассе деревьев и древостоев кафедры лесной таксации и лесоустройства. При решении программных вопросов использовался объединенный банк данных, который включал 107 пробных площадей с 1017 модельными деревьями.

4. СТРОЕНИЕ ДРЕВЕСНОГО ПОЛОГА

4.1. Особенности распределения деревьев по размерам крон

В основу данных исследований положен экспериментальный материал более 30 пробных площадей, заложенных в древостоях 20-90-летнего возраста различных классов бонитета. Средние размеры крон деревьев в исследуемых древостоях с возрастом закономерно увеличиваются: диаметр кроны – от 0.80 до 3.6 м, длина – от 2.8 до 8.6 м. Изменчивость диаметра крон несколько больше, чем их длины. Коэффициент вариации первого показателя изменяется от 27.5 до 58%, а второго – от 25.3 до 52.5%. С увеличением возраста древостоев и улучшением лесорастительных условий варьирование обоих признаков закономерно уменьшается.

Ряды распределения числа деревьев по диаметру кроны более асимметричны, по сравнению с таковыми по длине кроны. В первом случае значения асимметрии изменяются от +0.30 до +1.85, а во втором – от -0.35 до +1.10. Показатель эксцесса в рядах распределения деревьев по диаметру кроны колеблется от -0.40 до +1.92, а в рядах распределения по длине кроны – от -0.90 до +0.50. Наблюдается тенденция уменьшения асимметрии и повышения эксцесса исследуемых рядов с увеличением возраста древостоев.

Ряды распределения деревьев по диаметру кроны удовлетворительно описываются нормальным законом с 70-летнего возраста, а по длине кроны – с 50-летнего. В древостоях младшего возраста при аппроксимации этих рядов более перспективны функции, отражающие асимметрично распределения (в частности логарифмически-нормальная).

4.2. Особенности распределения ветвей в кронах деревьев

Теоретической основой большинства лесоводственно-таксационных методов оценки древостоев являются закономерности распределения количества деревьев по их таксационным показателям. Логично предположить, что и методы оценки кроновой массы должны основываться на закономерностях распределения ветвей в кронах деревьев. Тем не менее, данный вопрос остается слабоизученным. Можно отметить лишь несколько работ, посвященных этой проблеме (Нагимов, Деменев, 1990; Усольцев и др., 1996).

Настоящие исследования базируются на экспериментальном материале 70 модельных деревьев, взятых в сосновых древостоях различных классов бонитета, возраста и полноты. Результаты их свидетельствуют о высокой изменчивости размеров и массы ветвей в кронах деревьев. Так, полученные по всему массиву экспериментальных данных значения коэффициента вариации диаметра ветвей колеблются от 22.4 до 63.7%, длины – от 27.5 до 79.1%, общей массы – от 55.7 до 151% и массы древесной зелени – от 61.8 до 140%. С увеличением возраста в пределах каждого класса бонитета изменчивость всех рассматриваемых показателей закономерно повышается. Это объясняется старением крон: в кронах большего возраста при прочих равных условиях изменчивость ветвей и по размерам и по массе значительно выше. Если в древостоях с увеличением их возраста количество деревьев закономерно уменьшается, то количество ветвей с повышением возраста деревьев (крон), наоборот, увеличивается.

Коэффициенты вариации линейных размеров и массы ветвей закономерно увеличиваются с улучшением ценобитического положения деревьев. Деревья высших рангов имеют более развитые кроны, процесс отмирания нижних мутовок у них идет медленнее. При таком положении в кронах крупных деревьев ветви оказываются более дифференцированными по размерам. Обращает на себя внимание и факт большей изменчивости длины ветвей по сравнению с их диаметром. Известно, что в древостоях коэффициенты вариации диаметров деревьев всегда выше, чем их высот. Наблюдается тенденция уменьшения изменчивости рассматриваемых показателей с ухудшением условий местопрорастания древостоев.

Таким образом, влияние показателей одного и того же порядка на дифференциацию ветвей в кронах деревьев и деревьев в древостоях имеет обратную направленность.

Показатель асимметрии рядов распределения ветвей по диаметру и длине с возрастом древостоев изменяется с отрицательных значений на положительные (для диаметра ветвей – от -0.86 до +1.90, длины – от -0.67 до +2.02), т.е. в противоположной тенденции по отношению к распределениям деревьев в древостоях. Значения этого показателя в рядах распределения ветвей по общей массе колеблются от +0.16 до +3.12, а в рядах распределе-

ния по массе древесной зелени – от +0.30 до +3.16. Величина эксцесса в исследуемых рядах также изменяется в широких пределах: по диаметру ветвей – от -1.27 до +3.95; по длине – от -1.34 до +4.55; по общей массе – от -1.35 до +10.72; по массе древесной зелени – от -1.36 до +14.10.

При прочих равных условиях значения асимметрии и эксцесса в исследуемых рядах закономерно увеличиваются с повышением возраста деревьев, улучшением их ценотического положения и условий местопроизрастания.

Ряды распределения ветвей и по линейным и по весовым показателям достаточно надежно могут быть описаны двухпараметрической функцией Вейбулла. После аппроксимации этим уравнением 225 рядов распределения была изучена зависимость его обоих параметров (параметра масштаба α и параметра формы β) от возраста (A), диаметра (D), высоты (H) деревьев и показателя условий местопроизрастания H_{100} . Последовательное исключение переменных, мало влияющих на результирующий признак, привело к созданию общей для всех четырех распределений трехфакторной модели:

$$\ln\alpha (\ln\beta) = a_0 + a_1 \ln D + a_2 \ln H + a_3 \ln A. \quad (4.1)$$

Характеристика регрессионных уравнений, разработанных согласно структуре модели (4.1), приведена в табл. 4.1. Из ее данных видно, что все уравнения обеспечивают достаточную точность при оценке искомых параметров и вполне пригодны для прогнозирования изменений рядов распределения ветвей по линейным и весовым показателям.

На основе этих уравнений для деревьев различного возраста, диаметра и высоты были разработаны ряды процентного распределения ветвей по диаметру, длине, общей массе и массе древесной зелени. Анализ их показал, что при фиксированных значениях возраста и высоты деревьев с увеличением их диаметра заметно расширяется диапазон варьирования толщины ветвей. Это объясняется изменениями пространственного окружения деревьев: при прочих равных условиях увеличение диаметра деревьев одинаковой высоты связано с уменьшением густоты их стояния. Ряды распределения ветвей по линейным и весовым показателям слабо сопряжены между собой и отличаются по форме. Это объясняется тем, что ветви разных размеров существенно отличаются по возрасту, а, следовательно, по охвоенности и влажности фитомассы.

Общей закономерностью для всех распределений является увеличение левосторонней асимметрии с повышением возраста деревьев. В молодом возрасте распределения ветвей, особенно по линейным показателям, носят более или менее симметричный характер. С увеличением возраста деревьев появляются новые ветви, часть ветвей из нижних ступеней (диаметра, длины, массы) переходят в более высокие, другая часть (наиболее крупные) – отмирает.

Таблица 4.1

Показатели уравнений регрессии вида $\ln\alpha (\ln\beta) = a_0 + a_1 \ln D + a_2 \ln H + a_3 \ln A$

Параметры	Значение параметров				R ²	δ, %	№ модели
	a ₀	a ₁	a ₂	a ₃			
Распределение ветвей по диаметру							
α	2.321	-0.412	0.233	-0.234	0.685	± 21.0	(4.2)
β	-0.370	0.812	-0.254	-0.181	0.951	± 7.9	(4.3)
Распределение ветвей по длине							
α	1.891	-0.174	-0.022	-0.215	0.723	± 13.6	(4.4)
β	4.039	0.676	-0.070	-0.249	0.850	± 13.1	(4.5)
Распределение ветвей по массе							
α	1.156	-0.446	0.123	-0.110	0.737	± 17.0	(4.6)
β	2.964	2.213	-0.790	-0.330	0.952	± 0.5	(4.7)
Распределение ветвей по массе древесной зелени							
α	0.919	-0.270	0.018	-0.081	0.826	± 11.6	(4.8)
β	3.652	2.033	-0.768	-0.557	0.948	± 22.4	(4.9)

Ранги средних ветвей, вычисленные на основе разработанных рядов их процентного распределения, изменяются в определенных границах: по диаметру – от 46.7 до 55.8%, по длине – от 51.7 до 58.9%, по общей массе – от 49.8 до 71.7% и по массе древесной зелени – от 50.0 до 68.2%. С увеличением возраста деревьев ранги закономерно увеличиваются. Ветвь средняя по диаметру не является средней по длине, а тем более – по массе. В отдельных случаях масса средней ветви по диаметру может отличаться от средней массы ветвей кроны более чем в 1.5 раза.

В целом приведенные материалы свидетельствуют о несостоятельности метода модельных ветвей при оценке массы крон и их компонентов. Данные процентного распределения ветвей по линейным и весовым показателям могут служить основой для разработки методов оценки массы крон и их структурных частей без взвешивания.

5. ФИТОМАССА КРОНЫ ДЕРЕВЬЕВ СОСНЫ

5.1. Зависимость фитомассы кроны и ее структурных частей от таксационных показателей деревьев

При исследовании зависимостей фракций фитомассы крон от таксационных показателей деревьев были использованы данные 1017 модельных деревьев. Установлено, что масса крон наиболее тесно связана с относительной площадью сечения G:H ($\eta=0.95\pm 0.003$), объемом стволов (0.95 ± 0.003) и диаметром ствола у основания кроны ($\eta=0.92\pm 0.005$), а масса хвои – с диаметром ствола у основания кроны ($\eta=0.94\pm 0.004$) и показателем G:H

($\eta=0.93\pm 0.004$). Наблюдается достаточно тесная связь фитомассы крон в целом и хвои с возрастом крон ($\eta=0.78-0.79$) и площадью питания деревьев ($\eta=0.76-0.89$). Наименее тесно эти фракции связаны с показателем H_{100} ($\eta=0.25-0.26$). Для групп деревьев из древостоев разных классов бонитета, но принадлежащих к одной ступени толщины и классу возраста, частные коэффициенты корреляции зависимостей массы крон от показателя H_{100} составили от -0.38 до -0.50 . Частные коэффициенты корреляции для зависимости массы крон от возраста при фиксированных значениях диаметра и показателя H_{100} колеблются в пределах от -0.45 до -0.67 .

Высокими значениями корреляционного отношения характеризуются также зависимости фракций фитомассы крон от их линейных размеров. Они изучены на экспериментальном материале 942 модельных деревьев. Выявлено, что масса хвои более тесно связана с диаметром кроны ($\eta=0.89\pm 0.006$), а общая масса кроны – с ее протяженностью ($\eta=0.91\pm 0.006$).

В графическом выражении большинство исследованных зависимостей имеет вид вогнутой кривой. Нелинейность зависимостей свидетельствует об отсутствии однозначного выбора конкретного уравнения регрессии для их описания. Обобщение литературных (Рокицкий, 1973; Кузьмичев, 1977; Усольцев, 1985; и др.) и анализ экспериментальных материалов позволили предложить для этих целей аллометрическую (степенную) функцию:

$$y = ax^b \quad (5.1)$$

Известно, что константы этого уравнения имеют определенное биологическое объяснение, а само оно логарифмированием может быть приведено к более простому линейному виду:

$$\ln y = \ln a + b \ln x \quad (5.2)$$

Результаты исследований показали, что аллометрическая функция обеспечивает хорошие результаты при описании зависимостей массы фракций крон, как от таксационных показателей деревьев, так и от линейных размеров крон.

5.2. Оценка фитомассы крон с учетом условий местопрорастания и таксационных показателей деревьев

Формирование фитомассы крон и их структурных частей зависит от множества факторов, воздействие которых находится в непрерывной пространственно-временной динамике. Поэтому при изучении фитомассы крон целесообразно применение многомерного анализа.

Установлено, что положение деревьев равных размеров (в частности, одинакового диаметра), а, следовательно, и степень развития их крон, изменяются в зависимости от лесорастительных условий, возраста и густоты древостоев. Причем варьирование массы крон у деревьев одинакового диаметра в древостоях одного возраста и класса бонитета, связанное с густотой стоя-

ния деревьев, в значительной мере может быть учтено соотношением диаметра и высоты стволов. Таким образом, стремление к более полному учету в моделях особенностей формирования фитомассы крон диктует необходимость совместного использования в уравнениях множественной регрессии в качестве определяющих факторов показателя условий местопрорастания H_{100} , возраста, диаметра и высоты деревьев. Причем проведенные исследования показали, что зависимость массы фракций кроны от этих показателей наилучшим образом передается уравнением вида:

$$\ln P_i = a_0 + a_1 \ln D + a_2 \ln H + a_3 \ln A + a_4 \ln H_{100} + a_5 \ln D \ln H + a_6 \ln D \ln H_{100} + a_7 \ln D \ln A + a_8 \ln H \ln H_{100} + a_9 \ln H \ln A \quad (5.3)$$

Методом шагового регрессионного анализа для каждой фракции фитомассы крон в свежесрубленном и абсолютно сухом состояниях рассчитаны константы уравнения (5.3). При выборе лучших уравнений ориентировались на значения коэффициента детерминации, ошибок и t-критериев Стьюдента. Результаты данных исследований для фитомассы в свежесрубленном состоянии приведены в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Фракция фитомассы	Характеристика уравнения (5.3)						R ²	δ, %
	a ₀	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅		
Крона	2.527	2.411	-1.224	-0.624	-0.770	0.278	0.962	±23.2
Хвоя	3.989	2.315	-0.772	-0.988	-1.264	0.213	0.937	±32.2
Древесная зелень	3.380	2.482	-0.982	-0.922	-0.950	0.183	0.951	±36.4
Ген. органы	-7.058	3.390	-1.050	-0.049	-	-	0.507	±44.8
Отмершие ветви	0.111	1.573	-	-0.781	-0.750	0.210	0.792	+109.0

Выявляется, что максимальную долю изменчивости общей массы кроны, хвои и древесной зелени объясняет один и тот же набор переменных, константы которых значимы на 1%-ном уровне. Однако доля объясненной изменчивости, а также ошибки уравнений для каждого случая имеют свои конкретные выражения. Наиболее точно совокупностью указанных четырех факторов оценивается общая масса кроны. Меньшая точность при оценке массы хвои объясняется большей изменчивостью этой фракции и большими погрешностями в ее определении в полевых условиях.

Масса генеративных органов оценивается с недопустимо низкой точностью. Причем влияние показателя H_{100} на изменение массы данной фракции статистически не доказывается, а влияние возраста достоверно лишь на 10%-ном уровне значимости. Это свидетельствует о наличии неучтенных факторов (например, периодичности семяношения сосны). Информативность уравне-

ний по оценке отмерших ветвей также невысока. Среди причин здесь следует отметить довольно низкую точность учета массы отмерших ветвей при полевой обработке модельных деревьев - при валке данная фракция подвержена значительно большим потерям, чем любая другая.

Точность регрессионных уравнений была проверена по данным 75 модельных деревьев, не использованных при их разработке (табл. 5.2).

Таблица 5.2

Ошибки определения различных фракций фитомассы крон деревьев

Фракция фитомассы	Ошибка, %		
	систематическая	среднеквадратическая	общая
Крона	1.65	±24.20	±2.79
Хвоя	2.13	±29.70	±3.43
Древесная зелень	2.05	±27.50	±3.18

Ошибки отдельных наблюдений наиболее высоки при оценке массы хвои и древесной зелени. Общие ошибки для 75 деревьев не выходят за пределы ±5%, что позволяет считать разработанные модели адекватными природным процессам формирования фитомассы крон и их структурных частей.

На основе разработанных уравнений составлены таблицы, которые дают детальное представление о структуре и динамике фитомассы крон деревьев в исследуемых сосняках. У деревьев с одинаковыми диаметрами и высотами масса всех фракций крон закономерно уменьшается при постоянном классе бонитета с увеличением возраста, а при постоянном возрасте - с улучшением лесорастительных условий. Вес сырой хвои в общей массе крон колеблется от 19.2 до 87.5%. При прочих равных условиях доля хвои увеличивается с уменьшением диаметра и возраста деревьев, повышением высоты и ухудшением условий местопрорастания. Фитомасса крон у средних для древостоя деревьев закономерно увеличивается с повышением возраста и класса бонитета. Масса хвои в общей массе крон у них колеблется от 21.1 до 56.7%.

Эти закономерности обусловлены изменениями в напряженности конкурентных взаимоотношений между деревьями и различными темпами формирования фитомассы разных фракций вследствие их неодинаковой роли в продукционном процессе насаждений.

5.3. Оценка фитомассы крон с использованием их линейных показателей

Оценка фитомассы крон с использованием их диаметра (D_k) и протяженности (L_k) представляет несомненный интерес при лесобиологических исследованиях, а также обосновании дистанционных методов изучения фитомассы древесного полога.

Ниже, в качестве примера, показана информативность уравнений с различным набором факторов в объяснении изменчивости общей массы крон (P_k) в свежесрубленном состоянии:

$$\ln P_k = 0.184 + 2.781 \ln D_k, \quad R^2 = 0.824, \delta = \pm 127.9\%; \quad (5.4)$$

$$\ln P_k = -2.959 + 3.061 \ln L_k, \quad R^2 = 0.835, \delta = \pm 105.3\%; \quad (5.5)$$

$$\ln P_k = -1.726 + 2.071 \ln D_k + 0.967 \ln H, \quad R^2 = 0.877, \delta = \pm 92.4\%; \quad (5.6)$$

$$\ln P_k = -1.077 + 0.080 \ln D_k + 1.164 \ln H - 0.293 \ln A, \quad R^2 = 0.881, \delta = \pm 89.6\%; \quad (5.7)$$

$$\ln P_k = -3.174 + 0.763 \ln L_k + 1.707 \ln D, \quad R^2 = 0.929, \delta = \pm 60.9\%; \quad (5.8)$$

$$\ln P_k = -1.808 + 2.131 \ln D + 0.456 \ln L_k - 0.476 \ln A, \quad R^2 = 0.938, \delta = \pm 53.7\%; \quad (5.9)$$

$$\ln P_k = 1.825 + 2.188 \ln D + 0.698 \ln L_k - 0.68 \ln A - 1.10 \ln H_{100}, \quad R^2 = 0.957, \delta = \pm 41.1\%. \quad (5.10)$$

Данные материалы можно воспринимать как математико-статистическое обоснование наилучшего регрессионного уравнения. Последовательное включение каждого определяющего фактора в регрессионное уравнение повышает его детерминированность и существенно снижает ошибки. При этом необходимо отметить высокую достоверность коэффициентов регрессии при всех независимых переменных. Особенно примечательно снижение ошибок уравнения с увеличением количества определяющих факторов.

Подобные исследования проводились и в отношении фитомассы хвои. Результаты их немногим отличаются от приведенных для общей массы кроны. На основе разработанных уравнений получены табличные материалы (нормативы), которые можно использовать при оценке фитомассы древесного полога по крупномасштабным аэрофотоснимкам.

5.4. Оценка фитомассы крон с использованием их возраста

У деревьев сосны кроме линейных размеров кроны можно достаточно легко и точно определить ее возраст (A_k) - возраст нижней живой мутовки (сучка). В молодых древостоях до 40-50 лет этот показатель можно установить без валки деревьев. В специальной литературе имеются сведения о возможности использования возраста кроны как лесоводственно-таксационного показателя (Kramer, 1962; Преснухин, 1981; Лебков, 1993).

Нами на экспериментальном материале 405 модельных деревьев установлены достаточно тесные связи возраста кроны с таксационными показателями деревьев, которые носят криволинейный характер. Наиболее тесная связь наблюдается между возрастом кроны и возрастом дерева ($\eta = 0.847 \pm 0.029$). Связь возраста кроны с объемом ствола ($\eta = 0.761 \pm 0.037$) по характеру примерно такая же, как с показателем $G:H$ ($\eta = 0.757 \pm 0.021$). Менее тесные связи выявлены между возрастом кроны и линейными размерами ствола. Причем рассматриваемый показатель коррелирует с диаметром ствола (0.719 ± 0.042) в несколько меньшей степени, чем с высотой (0.755 ± 0.035). Зависимости линейных размеров крон от их возраста с небольшим допущением можно считать линейными по форме:

$$D_k = 0.758 + 0.067A_k, \quad R^2 = 0.547; \quad (5.11)$$

$$L_k = 1.902 + 0.154A_k, \quad R^2 = 0.619. \quad (5.12)$$

Прямолинейная связь диаметра кроны с диаметром стволов (Неволин, 1967; Кузьмичев, 1977; Луганский, Нагимов, 1994; и др.) и возрастом кроны позволяет достаточно надежно связать все три показателя в одном уравнении:

$$D_k = 0.574 + 0.177D - 0.015A_k, \quad R^2 = 0.884. \quad (5.13)$$

В уравнении (5.13) отрицательный знак коэффициента у возраста кроны свидетельствует, что у деревьев одинаковой толщины диаметр кроны уменьшается с увеличением ее возраста. Это объясняется возрастным изменением ранга деревьев одинаковой толщины, то есть при одинаковом диаметре больший возраст кроны имеют более старые деревья. В целом, проведенные исследования дают достаточно оснований утверждать о наличии в сосняках природной закономерности в изменении возраста кроны деревьев.

При оценке фракций фитомассы кроны с использованием их возраста наиболее удачным оказалось уравнение следующей структуры:

$$\ln P_i = a_0 + a_1 \ln D + a_2 H_{100} + a_3 \ln A_k. \quad (5.14)$$

Характеристики уравнения (5.14) для каждой фракции фитомассы рассчитывались на основе данных 162 модельных деревьев, взятых в древостоях до 50-летнего возраста. Результаты этих исследований для свежесрубленной фитомассы приведены в табл. 5.5.

Таблица 5.5

Характеристика уравнений вида $\ln P_i = a_0 + a_1 \ln D + a_2 H_{100} + a_3 \ln A_k$

Фракция фитомассы	Коэффициенты				R ²	δ, %	№ уравнения
	a ₀	a ₁	a ₂	a ₃			
Крона	-3.758	2.490	0.369	-0.328	0.949	±24.4	(5.15)
Хвоя	-3.215	2.467	0.204	-0.643	0.950	±25.1	(5.16)
Древесная зелень	-2.990	2.559	0.299	-0.783	0.950	±26.1	(5.17)

Статистические показатели уравнений свидетельствуют, что изменчивость массы кроны и их структурных частей в молодых древостоях достаточно полно характеризуется условиями местопроизрастания, диаметром ствола и возрастом кроны.

На основе разработанных уравнений составлены таблицы, которые могут быть использованы для оценки фитомассы кроны в молодняках при перечислительной таксации.

5.5. Дополнение таблиц объемов стволов данными по фитомассе кроны

Для лесохозяйственного производства, ориентированного на комплексное использование древесного сырья, применяемые в регионе таблицы объемов стволов целесообразно дополнить данными по фитомассе кроны. Эта

объемов стволов целесообразно дополнить данными по фитомассе кроны. Эта процедура может быть корректно выполнена на основе многофакторных уравнений фитомассы (Усольцев, 1988).

Наиболее корректное совмещение данных по фитомассе с табличными значениями объемов обеспечивается при помощи уравнений, содержащих в качестве независимой переменной объем стволов. Однако при оценке массы кроны информативность объема стволов недостаточна с общебиологических позиций. Деревья одной ступени толщины, характеризующиеся одинаковым объемом, в различных древостоях могут иметь разное ранговое положение, а, следовательно, развитие кроны. Установлено, что ранговое положение деревьев одного и того же объема, произрастающих в различных древостоях, устойчиво отражает отношение D:H. Анализ применяемых в регионе таблиц объемов стволов показал, что деревья в древостоях низших разрядов высот достигают одного и того же объема при значительно больших значениях показателя D:H.

С учетом характера зависимости фракций фитомассы кроны от объема стволов и показателя D:H разработана следующая структура регрессионной модели:

$$\ln P_i = a_0 + a_1 \ln D:H + a_2 \ln V. \quad (5.18)$$

С учетом того, что таблицами объемов пользуются во всех возрастных категориях древостоев, а масса кроны одних и тех же размеров (как было показано выше) существенно снижается с возрастом, нами проведены исследования по включению в уравнение (5.18) дополнительного фактора – возраста деревьев. В результате была получена следующая структура трехфакторного уравнения:

$$\ln P_i = a_0 + a_1 \ln D:H + a_2 \ln V + a_3 \ln A. \quad (5.19)$$

Все константы разработанных уравнений оказались значимыми на уровне 0.05. Они обеспечивали достаточную точность при оценке массы кроны в целом, хвои и древесной зелени. Коэффициенты детерминации для этих фракций составили, соответственно, 96.3, 93.3 и 95.1%. При помощи разработанных уравнений таблицы объемов стволов дополнены данными по фитомассе кроны. Причем для каждого разряда высот получены три варианта изменения фитомассы в зависимости от возраста.

6. ФИТОМАССА КРОНЫ СОСНОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ

Запасы кроны в исследуемых сосняках варьируют в широких пределах. Так, по отдельным пробным площадям масса кроны в целом в свежесрубленном состоянии колеблется от 14.3 до 74.8 т/га, а масса хвои - от 6.8 до 14.9 т/га. При прочих равных условиях наивысшими запасами кроны характеризуются древостои I класса бонитета. В пределах отдельных классов бонитета масса кроны изменяется в зависимости от возраста, а при одинаковых услови-

ях местопроизрастания и возрасте – от густоты (полноты) древостоев. Поэтому основной концепцией данных исследований явилось выявление совместного влияния возраста и густоты древостоев на формирование запасов фитомассы крон в насаждениях различных классов бонитета. Результаты специальных исследований показали, что более удобной формой применения густоты в уравнениях множественной регрессии является средняя площадь питания деревьев, определяемая по формуле:

$$S=10000/N, \quad (6.1)$$

где N – количество деревьев на 1 га.

На основе предварительного графического анализа экспериментальных данных и расчета парных связей было установлено, что изменение запасов фитомассы крон (P) в зависимости от возраста древостоев и средней площади питания деревьев в насаждениях одного уровня производительности наиболее точно передается уравнением следующей структуры:

$$\ln P = a_0 + a_1 \ln A + a_2 \ln S + a_3 \ln^2 A + a_4 \ln^2 S + a_5 \ln A \ln S + a_6 \ln A \ln^2 S. \quad (6.2)$$

Полученные по отдельным классам бонитета показатели уравнений для абсолютно сухой фитомассы приведены в табл.6.1.

Таблица 6.1

Характеристика уравнений (6.2)

Класс бонитета	Значение коэффициентов (числитель) и критериев Стьюдента (знаменатель) при факторах воздействия						R ²	δ, %
	a ₀	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₆		
I	-4.962	4.836	-2.901	-0.797	-0.094	1.032	-0.039	0.902 ± 12.7
II	-7.962	5.830	-3.042	-0.892	-0.083	1.020	-0.038	0.869 ± 15.1
III	-9.372	7.117	-4.102	-1.075	-0.139	1.311	-0.043	0.911 ± 12.2
IV	-9.961	6.860	-3.021	-0.944	-0.229	0.927	-0.001	0.897 ± 13.2
V	-11.34	7.276	-3.361	-0.951	-0.188	0.961	-0.009	0.905 ± 12.8

Значения коэффициентов детерминации свидетельствуют, что в древостоях одного уровня производительности возраст и густота объясняют от 87 до 91% изменчивости запасов фитомассы крон. Уравнения характеризуются сравнительно низкими среднеквадратическими ошибками – от 12.7 до 15.1%.

Комбинация переменных $\ln A \ln^2 S$ в древостоях IV и V классов бонитета оказалась статистически незначимой. На основе дополнительных исследований было установлено, что в древостоях низкой производительности хорошие результаты обеспечиваются на основе уравнения более простой структуры

$$\ln P = a_0 + a_1 \ln A + a_2 \ln^2 A + a_3 \ln S + a_4 \ln^2 S + a_5 \ln A \ln S. \quad (6.3)$$

Полученные по данным уравнениям табличные материалы очень громоздки для помещения их в автореферате. Поэтому ограничимся только их анализом. Они свидетельствуют, что в древостоях одного класса бонитета и возраста общая масса крон значительно варьирует в зависимости от густоты

их произрастания. Наиболее густые древостои характеризуются наибольшими запасами крон только в молодом возрасте. В процессе дальнейшего роста древостоев уменьшение разницы в числе деревьев между древостоями разной первоначальной густоты происходит на фоне неадекватного изменения разницы в развитии крон. Изменение размеров крон в результате ослабления процессов жизнедеятельности деревьев в густых древостоях и действия рангового закона (Маслаков, 1981) происходит не пропорционально изменению числа деревьев, а отстает от него.

Поэтому преимущество по запасу крон постепенно переходит к менее густым древостоям, и в возрастном развитии насаждений для максимального накопления кроновой массы обнаруживается оптимальная густота.

Возрастная динамика запасов крон в значительной мере определяется первоначальной и текущей густотой древостоев. По нашим материалам ее можно анализировать в трех вариантах: при фиксированных, оптимальных и максимальных (предельных) густотах. Все три варианта свидетельствуют о закономерном повышении запасов крон с увеличением возраста. Данное положение находится в полном соответствии с материалами, полученными при исследовании возрастной динамики запасов крон в сосняках по отдельным естественным рядам роста и развития древостоев (Зябченко, Иванчиков, 1978; Луганский, Нагимов, 1994). Запас хвой при максимальных густотах с повышением возраста вначале резко возрастает, затем наступает период его кульминации, после чего он несколько снижается.

Влияние и густоты, и возраста древостоев на формирование фитомассы крон в значительной степени контролируется лесорастительными условиями. При больших объемах доступных ресурсов среды древостои имеют больше возможности для увеличения темпов продуцирования, а следовательно, фотосинтезирующего аппарата и энергии побегообразования. Поэтому при прочих равных условиях в насаждениях высших классов бонитета запасы крон значительно выше, чем в худших.

В целом полученные результаты являются хорошей базой для оптимизации процессов лесовыращивания и разработки стратегий лесохозяйственных мероприятий, в частности, в защитных лесах.

6.2. Регрессионные уравнения для дополнения материалов по выделительной таксации данными по фитомассе крон

В настоящее время при стыковке различных фракций фитомассы насаждений с характеристикой структурных элементов лесного фонда наиболее приемлемым и обоснованным приемом считается использование переводных (конверсионных) коэффициентов (K_i), которые представляют собой соотношение между массой фракций и запасом стволовой древесины. Как было показано выше, соотношения фракций фитомассы крон существенным образом определяются классом бонитета, возрастом и

густотой древостоев. В таксационной характеристике выделов присутствуют только первые два показателя. В то же время признается целесообразность использования в уравнениях переводных коэффициентов показателей, содержащихся в характеристике соответствующего элемента лесного фонда (Швиденко и др., 2001). Такими показателями наряду с возрастом и классом бонитета могут служить относительная полнота и средний диаметр древостоев, которые тесно связаны с густотой.

Результаты специальных исследований показали, что при прочих равных условиях уравнения переводных коэффициентов со средним диаметром обеспечивают большую точность, чем с относительной полнотой. С учетом характера зависимости переводных коэффициентов (отношение абсолютно сухой массы к запасу) от возраста, показателя H_{100} и среднего диаметра древостоев на экспериментальном материале всех пробных площадей получены уравнения:

$$\ln K_{кр} = 5.097 + 4.683 \ln A - 1.526 \ln^2 A + 0.085 \ln^3 A - 5.348 \ln H_{100} + 0.803 \ln^2 H_{100} + 0.372 \ln D + 0.399 \ln^2 D + 0.604 \ln D \ln A - 1.052 \ln D \ln H_{100}, \quad R^2 = 0.925, \delta = 12.9\%; \quad (6.4)$$

$$\ln K_{хв} = -0.948 + 9.066 \ln A - 2.672 \ln^2 A + 0.168 \ln^3 A - 5.531 \ln H_{100} + 0.886 \ln^2 H_{100} + 0.593 \ln D + 0.319 \ln^2 D + 0.736 \ln D \ln A - 1.204 \ln D \ln H_{100}, \quad R^2 = 0.905, \delta = 13.7\%. \quad (6.5)$$

Статистические показатели уравнений свидетельствуют, что они обеспечивают достаточно высокую точность при оценке переводных коэффициентов. На их основе выделительные таксационные описания насаждений можно поднять на более высокий информационный уровень.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В целом в результате проведенных исследований получены следующие основные обобщения и выводы.

В исследуемых сосняках изменчивость диаметра кроны несколько больше, чем их протяженность. Ряды распределения числа деревьев по диаметру кроны более асимметричны и островершинны по сравнению с таковыми по протяженности кроны. Нормальный закон в качестве математической модели для первых рядов может применяться с 70-летнего возраста, а для вторых – уже с 50 лет. В древостоях младшего возраста при аппроксимации этих рядов более перспективны функции, отражающие асимметрию распределения.

Распределение ветвей в кронах деревьев подчинено определенным закономерностям. Причем влияние факторов одного и того же порядка на характер дифференциации и распределения ветвей в кронах деревьев и деревьев в древостоях имеет обратную направленность. Изменчивость размеров и массы ветвей в кронах закономерно повышается с увеличением возраста, улучшением ценотического положения и условий местопроизрастания деревьев. Общей закономерностью трансформации кривых распределения вет-

вей по линейным размерам и массе является увеличение левосторонней асимметрии и значений эксцесса с повышением возраста, рангового положения деревьев и улучшением лесорастительных условий. Ветвь средняя по длине не является средней по длине и по массе. Это объясняется слабой сопряженностью рядов распределения ветвей по линейным размерам и массе из-за различий ветвей одинаковых размеров по возрасту, охвоенности и влажности. Приведенные материалы свидетельствуют о несостоятельности метода модельных ветвей при оценке фракций фитомассы крон.

Наиболее адекватными природным процессам формирования фитомассы крон являются уравнения, в которых в качестве определяющих факторов используются показатель условий местопроизрастания H_{100} , возраст, диаметр и высота деревьев. В таких уравнениях возраст является основополагающим фактором воздействия на процесс формирования фитомассы, влияние лесорастительных условий на варьирование фитомассы опосредуется показателем H_{100} , а генетические особенности деревьев и их ценотическое положение – соотношением диаметров и высот.

При прочих равных условиях масса всех фракций кроны закономерно увеличивается с повышением диаметра деревьев и уменьшается с увеличением их высоты и возраста, а также – улучшением условий местопроизрастания. Доля хвои в общей массе крон увеличивается с уменьшением диаметра и возраста деревьев, повышением высоты и ухудшением условий местопроизрастания.

Между основными таксационными показателями деревьев с одной стороны и возрастом кроны с другой существуют достаточно тесные взаимосвязи, что позволяет использовать возраст кроны в лесоводственно-таксационных исследованиях. В частности, на основе указанного показателя разработаны оригинальные модели для оценки основных фракций фитомассы крон в насаждениях до 40-50-летнего возраста.

При разработке унифицированных с объемными таблицами нормативов оценки фракций фитомассы крон лучшие результаты обеспечивают модели, в которых в качестве одной из независимых переменных используется объем стволов. Корректное совмещение с объемными таблицами фитомассы возможно на основе многофакторных уравнений с тремя переменными – возрастом, объемом и показателем $D:H$ деревьев.

Характер формирования запасов фракций фитомассы крон определяется условиями местопроизрастания, возрастом и густотой древостоев. В фазе индивидуального роста чем больше густота, тем значительнее запасы ассимиляционного аппарата и крон в целом. В последующем преимущество по запасу хвои (крон) постепенно переходит к менее густым древостоям, и в возрастном развитии насаждений максимальному накоплению кроновой массы (хвои) будет соответствовать определенная (оптимальная) густота.

С повышением возраста древостоев фитомасса хвои в начале резко возрастает, затем наступает период ее кульминации, после чего она несколько снижается. Для поддержания эффективной работы ассимиляционного аппарата с возрастом дерева перестраивают крону в направлении развития неохвоенной (ядровой) части. Вследствие этого, возрастная динамика запасов крон описывается не колоколообразной, а монотонно возрастающей функцией.

Формирование запасов фитомассы хвои и крон в целом происходит в тесной зависимости от качества условий местопроизрастания – древостой высших классов бонитета характеризуются большими запасами кроновой массы, чем низших.

При прочих равных условиях доля хвои в общем запасе крон повышается с уменьшением возраста древостоев, увеличением их густоты и ухудшением лесорастительных условий.

Для дополнения таксационной характеристики выделов данными по запасам фитомассы крон целесообразно использовать многофакторные регрессионные уравнения переводных коэффициентов. Хорошие результаты при этом обеспечивают уравнения, в которых в качестве определяющих факторов используются показатели, содержащиеся в таксационном описании выделов: возраст, класс бонитета и средний диаметр древостоев.

Выполненные исследования позволили подготовить для производства следующие нормативные материалы:

- 1.Ряды процентного распределения деревьев в древостоях по размерам крон и ветвей в кронах по линейным и весовым показателям;
- 2.Таблицы фитомассы крон и их структурных частей:
 - а)четырехходовые (класс бонитета, возраст, диаметр и высота деревьев);
 - б)трехходовые (класс бонитета, диаметр деревьев и возраст крон);
 - в)унифицированные с применяемыми в регионе таблицами объемов стволов.
 - г)трехходовые (возраст, высота деревьев и диаметр кроны).
- 3.Трехходовые (класс бонитета, возраст и густота древостоев) таблицы запасов крон и их структурных частей.
- 4.Регрессионные уравнения переводных коэффициентов.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

Сальникова И.С. Зависимость биометрических показателей и надземной фитомассы деревьев от площади питания // Актуальные проблемы лесоведения: Тез. докл. регионал. молод. научн. конф. / Екатеринбург, 1996. С.48-50.

Нагимов З.Я., Сальникова И.С. Возраст крон деревьев и его применение при оценке фитомассы крон в сосняках Среднего Урала // Лесная такса-

ция и лесоустройство: Межвуз. сб. научн. тр. / Красноярск: Изд-во КПИ, 1997. С. 48-55.

Нагимов З.Я., Сальникова И.С. Разработка унифицированных нормативов оценки надземной фитомассы деревьев // Леса Урала и хозяйство в них: Сб. научн. тр. / Екатеринбург: Изд-во Урал. лесотехн. ин-та, Вып. 20, 1998. С. 51-62.

Нагимов З.Я., Шевелина И.В., Сальникова И.С., Анчугова Г.В. Математические модели оценки фитомассы стволов в сосновых древостоях // Научные труды / Екатеринбург: УГЛТА, 2000. С. 19-25.

Сальников А.А., Усольцев В.А., Сальникова И.С. Оптимизация объема экспериментальных данных при оценке массы крон березы на основе пайп-модели // Научные труды / Екатеринбург: УГЛТА, 2000. С. 43-51.

Нагимов З.Я., Шевелина И.В., Анчугова Г.В., Сальникова И.С. Регрессионные модели переводных коэффициентов надземной фитомассы древостоев // Леса Урала и хозяйство в них: Сб. научн. тр. / Екатеринбург: Изд-во Урал. гос. лесотехн. ун-та, Вып. 21, 2001. С. 141-147.

Нагимов З.Я., Анчугова Г.В., Шевелина И.В., Сальникова И.С. Влажность и закономерности соотношений фракций надземной фитомассы сосновых древостоев // Леса Урала и хозяйство в них: Сб. научн. тр. / Екатеринбург: Изд-во Урал. гос. лесотехн. ун-та, Вып. 21, 2001. С. 147-152.

Нагимов З.Я., Сальникова И.С. Строение крон деревьев сосны // Леса Урала и хозяйство в них: Сб. научн. тр. / Екатеринбург: Изд-во Урал. лесотехн. ун-та, Вып. 24, 2004. С. 161-169.

Нагимов З.Я., Сальникова И.С. Закономерности формирования фитомассы крон в сосновых древостоях Среднего Урала // Лесопользование, экология и охрана лесов: фундаментальные и прикладные аспекты / Матер. междунар. научн.-практ. конф. Томск, 2005. С. 244-245.

Сальникова И.С. Оценка фитомассы крон с использованием их линейных размеров // Лесопользование, экология и охрана лесов: фундаментальные и прикладные аспекты / Матер. междунар. научн.-практ. конф. Томск, 2005. С. 129-130.