

На правах рукописи

ХЛЮСТОВ
ДМИТРИЙ ВИТАЛЬЕВИЧ

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ РОСТА, СТРОЕНИЯ И ПРОДУКТИВНОСТИ
ДРЕВОСТОЕВ НА ПРИМЕРЕ БЕРЕЗНЯКОВ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

06.03.02 - Лесоустройство и лесная таксация

Автореферат
Диссертации на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Москва - 2004

Работа выполнена в Московском государственном университете леса

- Научный руководитель - доктор сельскохозяйственных наук,
профессор Харин Олег Александрович.
- Официальные оппоненты: - доктор сельскохозяйственных наук,
профессор Сухих Василий Иванович
- кандидат сельскохозяйственных наук,
доцент Автухович Евгений Васильевич
- Ведущая организация - ФГУП Поволжское лесостроительное
предприятие «Поволжский леспроект»

Защита диссертации состоится « 29 » декабря 2004 г.
в 10 ч. 30 мин. часов на заседании диссертационного совета Д.212.146.02 при
Московском государственном университете леса по адресу:
141005, Московская область, г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская,
Московский государственный университет леса.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского
государственного университета леса

Автореферат разослан «29 » ноября 2004 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат сельскохозяйственных
наук, доцент

Ф.А. Никитин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследований следует из того, что возрастная динамика роста, строения и продуктивности древостоев является основой лесоустроительного проектирования и ведения лесохозяйственной деятельности. Исследования закономерностей хода роста и динамики таксационного строения березовых древостоев Среднего Поволжья до настоящего времени носили фрагментарный характер, а составленные Поволжским лесоустроительным предприятием эскизы таблиц хода роста нуждались в существенной доработке и детализации. Отсутствие четко выраженных территориальных границ (районов) использования ранее выявленных частных закономерностей возрастной динамики требовало проведения системных исследований. При переходе лесного сектора экономики на рыночные условия, в которых осуществляется ориентация на целевое лесопользование, назрела необходимость в разработке единых системных нормативов, сочетающих в себе возрастную динамику роста, строения продуктивности и товарной структуры древостоев.

Цель работы и задачи исследований. Систематизировать на примере березняков Среднего Поволжья многообразие таксационного строения древостоев. Выявить закономерности возрастной динамики роста, строения и продуктивности растущей части древостоев. В соответствии с этим были поставлены следующие основные задачи исследований:

- уточнить общую закономерность текущего радиального прироста деревьев и на ее основе разработать способ прогнозирования динамики строения древостоев;
- разработать методику расчета теоретических частот эмпирического вариационного ряда непараметрическим методом;
- дать комплексную классификацию таксационному строению древостоев по статистическим показателям формы и масштаба рядов распределения;
- разработать статистическую модель таксационного строения древостоев по квантилям вариационного ряда;
- разработать модели возрастной динамики роста, строения и продуктивности древостоев.

Научные положения, выносимые на защиту, и их новизна.

Уточнена общая закономерность изменения радиального прироста, выраженного в долях прироста, соответствующего среднему дереву древостоя от редуционных чисел диаметра. Она зависит только от возраста древостоев. Полученная на ее основе модель может быть использована при прогнозировании динамики строения древостоев.

Разработана методика расчета теоретических частот эмпирического ряда непараметрическим методом, описывающая кривые распределения от джей-образных кривых до кривой нормального распределения.

Проведена многомерная классификация кривых распределения деревьев по диаметру по статистическим показателям масштаба и формы, позволившая уложить все многообразие кривых в 9 классов.



Разработаны модели динамики строения древостоев по квантилям вариационного ряда.

Уточнены закономерности динамики роста и продуктивности растущей части древостоев Среднего Поволжья.

Достоверность выводов и результатов исследований

обеспечивается использованием большого по объему экспериментального материала, применением многомерных статистических методов анализа данных и проверкой результатов исследований в различных лесорастительных районах Среднего Поволжья.

Практическая ценность и реализация работы.

Разработана новая справочно-нормативная база возрастной динамики роста, строения и продуктивности березняков Среднего Поволжья. Результаты исследований в виде справочника «Ход роста и строение сомкнутых березовых древостоев Среднего Поволжья (с графическим приложением)» (2004) включаются в «Основные положения организации и ведения лесного хозяйства субъектов Приволжского Федерального Округа» и рекомендованы к использованию в лесоустроительном проектировании при обосновании режимов лесопользования (акт о внедрении Ведущей организацией ФГУП «Поволжский леспроект» к диссертационному исследованию прилагается).

Апробация работы. Результаты исследований докладывались и обсуждались на региональных, всероссийских и международных научных конференциях: «200-летие Лесного Департамента России» (НГСХА, Н.Новгород, 2000); Студенческая научная конференция (НГСХА, Н.Новгород, 2001); «Актуальные проблемы лесного хозяйства и рациональное использование природных ресурсов Нижегородской области» (НГСХА, Н.Новгород, 2002); «Леса Евразии в XXI веке: Восток - Запад» (МГУЛ, Москва, 2002); «Проблемы экологии и охраны природы. Пути их решения» (УлГУ, Ульяновск, 2003); «Динамика научных достижений - 2004» (Днепропетровск, 2004).

Публикации. Основное содержание диссертации изложено в 9 печатных работах и лесотаксационном справочнике «Ход роста и строение сомкнутых березовых древостоев Среднего Поволжья (с графическим приложением)».

Объем работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав, основных выводов и предложений, списка использованной литературы из 155 наименований, в том числе 15 на иностранных языках. Работа содержит 184 страницы машинописного текста, 28 таблиц, 91 рисунок и 10 приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение. В краткой форме обосновывается актуальность темы диссертации, изложены цель и задачи исследований, сформулированы научные положения, выносимые на защиту и их новизна, отражена практическая значимость работы и ее внедрение в производство.

1. Состояние вопроса. В настоящее время отечественное лесоустройство располагает значительной теоретической базой в виде справочных лесотаксационных нормативов, разработанных для всех лесорастительных районов Российской Федерации и стран СНГ. Примером выполнения этого колоссального труда является издание справочника «Общесоюзные Нормативы для таксации лесов».

Особая роль в теоретических основах лесоустройства и древесного лесопользования отводится лесотаксационным нормативам. Хронология исследований в этом направлении получила свое начало еще в середине XIX века и продолжалась в трудах русских ученых лесоводов Варгаса де Бедемара, ММ.Орлова, Д.И.Товстолеса, А.И.Тарашкевича, Н.В.Третьякова, Ф.П.Моисеенко, И.М.Науменко, М.Л.Дворецкого, В.К.Захарова, Д.П.Столярова, В.С.Моисеева, А.Г.Мошкалева, П.М.Верхунова, В.В.Загрева и многих других. Широкую известность в научном мире получили труды зарубежных ученых ТГартига, Р.Гартига, М.Гейера, А.Шваппаха, Е.Видемана, Е.Ассманна, И.Ильвесалло и др.

Таблицы хода роста разделяют на местные и общие. Идея теоретического обобщения лесотаксационных нормативов развивалась В.Вейзе, Р.Вебером, А.Шифелем, А.Фрике, А.В.Тюриным, В.В.Загреевым, Н.Н.Сваловым и др.

В последние десятилетия заслуживают особого внимания исследования по возрастной динамике древостоев, основанные на многомерных методах анализа опытных данных с использованием ПК (Кузьмичев, 1977; Филиппов и др., 1980; Лиёпа, 1980; Макаренко, 1987; Атрошенко, 1988; Кивисте, 1988; Кулешис, 1989; Воронков и др., 1990; Меньшиков, 1990; Черных, 2002 и др.).

Методические приемы исследования строения древостоев в научной литературе освещены довольно подробно, в лесотаксационных справочниках ряды распределения по ступеням толщины в древостоях с различным средним диаметром представлены А.В.Тюриным, В.С.Моисеевым, А.Г.Мошкалевым, В.Ф.Багинским, А.З.Швиденко, Г.С.Войновым, А.А.Макаренко, Н.Т. Смирновым, В.Л. Черных и др.

Возрастная динамика естественного и искусственного формирования оптимальной товарной структуры древостоев напрямую связана с динамикой строения древостоев. Эти задачи решались в двух направлениях: на основе моделирования статистических показателей рядов распределения от ряда таксационных признаков (Кузьмичев, 1977; Макаренко, 1987) и на выявлении закономерностей динамики квантилей вариационного ряда (Хлюстов, 1992).

Рассмотренные проблемные вопросы предопределили основные направления, цель и задачи исследований.

2. ПРОГРАММА, МЕТОДИКА, ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ, ОБЪЕМ ВЫПОЛНЕННЫХ РАБОТ

Согласно целевой направленности работы, исследования проводились по следующим программным вопросам:

- 1) дать статистическую оценку моделям строения древостоев, построенным на основе параметрических и непараметрических методов;
- 2) разработать новый способ моделирования строения древостоев непараметрическим методом;
- 3) разработать способ прогнозирования возрастной динамики строения древостоев по величине текущего прироста;
- 4) дать комплексную классификацию строения древостоев и построить модели статистических показателей масштаба и формы рядов распределения;
- 5) выявить закономерности и построить модели строения древостоев по квантилям вариационного ряда;
- 6) разработать способ классификации многообразия форм строения древостоев;
- 7) выявить закономерности и построить модели возрастной динамики роста и строения растущей части древостоев.

Исследования проводились с учетом общепринятых методических руководств (Сукачев, Зонн, Мотовилов, 1957; Захаров, 1961; Молчанов, Смирнов, 1967; Загреев, Швиденко, 1973; Анучин, 1982).

Закладка пробных площадей проводилась в пределах типа леса, в одновозрастных древостоях березовой хозсекции. При наличии в составе древостоя примеси других пород таксация пробных площадей велась по элементам леса. Количество деревьев на пробных площадях соответствовало требованиям ОСТ 56-69-83 «Пробные площади лесоустойчивые. Метод закладки». В соответствии со стандартом заложено 19 пробных площадей.

Экспериментальный материал был дополнен пробными площадями, заложенными Поволжским лесоустойчивым предприятием в различных лесорастительных районах Среднего Поволжья. Территория, определяемая как Среднее Поволжье, включает в себя Республики Марий Эл, Татарстан, Удмуртия, Чувашскую и Мордовскую республики, Кировскую, Костромскую, Нижегородскую, Пензенскую, Пермскую, Самарскую и Ульяновскую области. По принятому в лесной таксации районированию Среднее Поволжье относится к Центральному району европейской части России («Общесоюзные нормативы для таксации лесов»).

Опытными данными были охвачены древостой от III до I^a классов бонитета с I по XII классы возраста. Всего для анализа возрастной динамики таксационных показателей использовано 27 пробных площадей со сплошным пересчетом деревьев, а также данные 104 выделов, с проведенной на них прицельно-измерительной таксацией древостоев, на которых, согласно программе исследований, проведен весь комплекс измерений.

Кроме того, в диссертации использовались данные о строении древостоев по диаметру, полученные разными авторами в различных лесорастительных районах с диапазоном средних диаметров от 2-х до 64-х см. Всего в работе использовано 120 вариационных рядов распределения деревьев по диаметру.

Обработка опытного материала осуществлялась в соответствии с методическими разработками по ходу роста древостоев, по теории

распределения случайных величин, по текущему приросту деревьев и древостоев (Верхунов, 1979; Антанайтис, Загреев 1981; Бредихин МЛ, 1985; Антанайтис, 1986; Богачев, 1991, Багинский, 1996;), с применением статистических методов анализа (Урбах, 1964; Митропольский, 1969; Никитин, Швиденко, 1978; Герасимов, Хлюстов, 2001) по стандартным и разработанным диссертантом программам.

3. МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРОЕНИЯ ДРЕВОСТОЕВ ПО ДИАМЕТРУ И РАДИАЛЬНОМУ ТЕКУЩЕМУ ПРИРОСТУ ПАРАМЕТРИЧЕСКИМИ И НЕПАРАМЕТРИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

В главе представлены результаты статистического анализа параметров кривых распределения деревьев по толщине и радиальному текущему приросту за последние 5 лет. Показана достоверность определения средней арифметической величины, стандартного отклонения, асимметрии и эксцесса. При аппроксимации эмпирических распределений 24-х вариационных рядов, охватывающих березняки от молодняков до спелых древостоев, испытаны кривые распределения Джонсона, основанные на использовании квартилей рядов распределения и наиболее совершенные четырехпараметрические кривые К.Пирсона по разработанным автором программам.

Наряду с указанными моделями аппроксимации эмпирических распределений, подробно изложен новый способ расчета теоретических частот эмпирического ряда непараметрическим методом. Он основан на пошаговом теоретическом распределении накопленного процентного ряда от медианы в начало (I класс) и конец (X класс) ряда. При наличии джеб-образной кривой алгоритмом предусмотрен пошаговый расчет накопленного распределения частот от I-го класса к X-му, так как модальное значение соответствует I-му классу ряда распределения. Предложена система теоретических кривых (25 типов), основанная на расчете коэффициента β по данным процента накопленных частот, соответствующих квантилям ряда, размещенным в границах V и VI классов ряда распределения (рис 1).



Рис. 1. Номограмма теоретического изменения показателя β по классам ряда распределения

Статистическое сравнение эмпирических и теоретических распределений по критерию χ^2 -Пирсона позволило оценить рассмотренные кривые как равнозначные, адекватно описывающие распределение деревьев по диаметру и радиальному приросту (табл.1).

Таблица 1.

Сравнительная оценка надежности теоретических распределений, предложенных разными авторами

Наименование распределения	χ_p^{-2}	$\pm m_{\chi_p^{-2}}$	χ_{05}^2	Достоверность различий по t-критерию Стьюдента		
				Джонсона	Пирсона	по нашей модели
По радиальному приросту						
Джонсона	8,90	+1,44	12,6	-	1,613	2,205
Пирсона	5,71	+1,36	11,1	-	-	0,33
по нашей модели	5,18	+0,89	12,6	-	-	-
По диаметру						
Джонсона	7,71	+1,62	12,6	-	2,249	2,075
Пирсона	3,70	+0,75	11,1	-	-	0,172
по нашей модели	3,89	+0,87	12,6	-	-	-

$$t_{05} = 2,07 \text{ при числе степеней свободы } \nu = (n_1 + n_2) - 2 = 22$$

Предложенный алгоритм расчета теоретических частот позволяет рассматривать строение древостоев, укладывая их в общую систему изменений коэффициента β в 10-ти классовых промежутках.

Детально рассматривается способ прогнозирования строения древостоев на основе закономерностей текущего прироста. Так как изменение с возрастом масштаба и формы ряда распределения древостоя тесно связано с приростом составляющих его деревьев, то была поставлена задача выявить статистически обоснованную форму взаимосвязи прироста от размера деревьев, а также описать его изменение от возраста и уровня производительности древостоев.

Обнаружение указанных закономерностей потребовало наличия статистических доказательств с выполнением следующих процедур:

- дать оценку сходства формы рядов распределения деревьев по толщине и, радиальному приросту;

- выявить статистически значимое наличие или отсутствие криволинейности взаимосвязей радиального прироста с диаметром деревьев по F-критерию линейности корреляции;

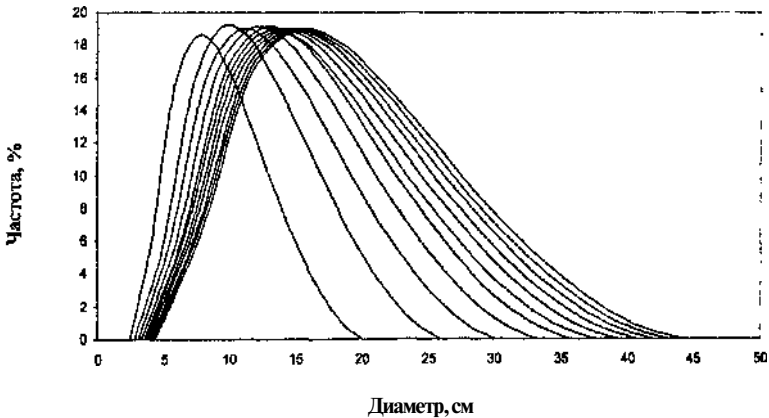
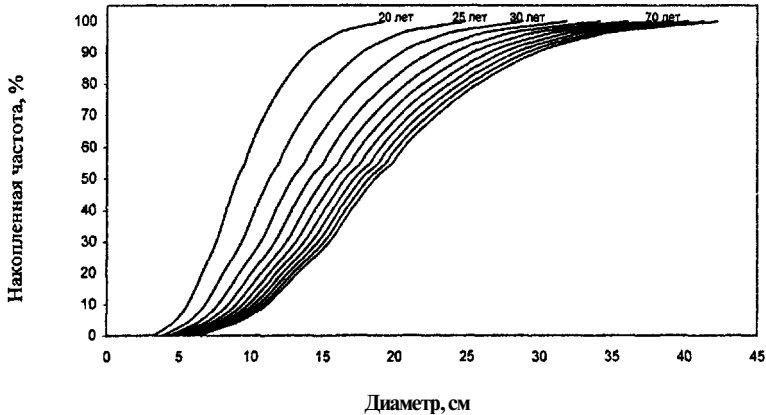
- определить форму и структуру модели взаимосвязи радиального прироста с диаметром и возрастом древостоев при разных уровнях производительности;

- провести статистическое сравнение линий регрессии с целью выявления общей закономерности изменения радиального прироста от диаметра деревьев.

Решение этих задач позволило получить модель (1).

$$z_r = \exp(11,875 - 7,199 \cdot \ln A + 0,852 \cdot \ln^2 A) \cdot \left(\frac{d_i}{D}\right)^{1,3298e^{-0,0036 \cdot A}} \quad (1)$$

На основе полученной модели рассматривается возможность прогнозирования возрастной динамики строения от исходного ряда распределения с использованием модели прироста. В результате пошагового накопления прироста по среднему диаметру древостоя и по модели радиального прироста (1) получены теоретические кривые изменения масштаба и формы рядов распределения с возрастом древостоя (рис. 2 и 3).



4. СИСТЕМАТИЗАЦИЯ СТРОЕНИЯ ДРЕВОСТОЕВ ПО ДИАМЕТРУ

Глава посвящена классификации рядов распределения по статистическим показателям масштаба. При решении этой задачи было задействовано 120 рядов распределения деревьев в древостоях, произрастающих в различных лесорастительных районах. Из общего количества рядов 93 ряда представлено теоретическими кривыми, относящимися к лесорастительным районам Северо-Запада, Северо-Востока РФ, Белоруссии, Украины, Молдавии, Уральскому региону, южной части Западной Сибири.

В качестве исходных переменных были приняты показатели масштаба: диаметр минимальный (d_{\min}), диаметр максимальный (d_{\max}), диаметр средний арифметический (D), стандартное отклонение (σ), медиана ряда распределения (Me), малая ($d_{25\%}$) и большая ($d_{75\%}$) квантили.

Факторный анализ рядов распределения позволил выявить две главные компоненты (d_{\min}) и ($d_{\max}, D, \sigma, Me, d_{25\%}, d_{75\%}$). Дендрограмма кластеризации рядов распределения по ближайшему соседу и Уорду позволила выявить 8 классов рядов по показателям масштаба. Достоверность классификации была подтверждена критериально дискриминантным анализом. Суммарное межкластерное расстояние Махаланобиса равно 62,48 при значимости менее 5%-ого уровня при отсутствии статистически значимых различий рядов в пределах классов. Большинство рядов - 84% имеет вероятность принадлежности к классу на уровне 80-100% и 16% в диапазоне 50-80%.

Проведенная классификация рядов распределения позволила получить 8 усредненных исходных переменных и выявить закономерности изменения статистических показателей масштаба рядов распределения от среднего диаметра древостоя. Коэффициенты детерминации аллометрических уравнений связи находятся в границах от $R^2=0,995$ до $R^2=0,999$, что указывает на высокую тесноту взаимосвязей между переменными, подтверждающая их статистическую достоверность.

Также рассмотрено решение классификационной задачи распределения вариационных рядов по форме, характеризующейся скошенностью ряда - асимметрией и крутизной - эксцессом. Наличие двух исходных переменных позволило построить дендрограмму кластеризации по стратегиям ближайшего соседа и Уорда. В результате кластеризации выявлено 9 классов рядов. Достоверность классификации подтверждена критериально. Суммарное межкластерное расстояние Махаланобиса равно 104,2 при значимости менее 5%-ого уровня ($P<0,05$).

Рассматривается также и взаимосвязь усредненных по классам показателей эксцесса от асимметрии, которая статистически довольно точно аппроксимируется уравнением параболы второго порядка:

$$E = 0,7905 As^2 + 0,6793 As + 2,7015 \quad (2)$$

$$R^2 = 0,974$$

II

Графическая интерпретация этой взаимосвязи (рис. 4) позволяет отметить наличие среди 9-ти классов рядов распределения группы из 3-х классов, близких к кривой нормального распределения. В остальной совокупности классов проявляется восходящее параболическое увеличение эксцесса от асимметрии, достигающее максимального значения $E = 8,57$ при $As = 2,35$

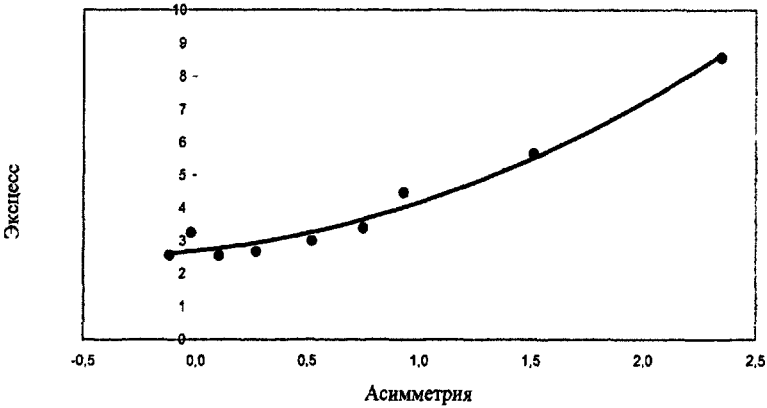


Рис. 4. Взаимосвязь эксцесса с асимметрией рядов распределения

Детально осваивается комплексная классификация строения древостоев по всему комплексу статистических показателей масштаба и формы. Так, при решении классификационной задачи было предусмотрено проведение факторизации с выделением главных компонент. В результате из всей совокупности исходных переменных было выделено 3 собственных значения факторов. Первую главную компоненту представили As и E , вторую - d_{min}, d_{max}, σ , третью - переменные, близкие к средней арифметической величине ряда распределения - $D, Me, d_{25\%}, d_{75\%}$.

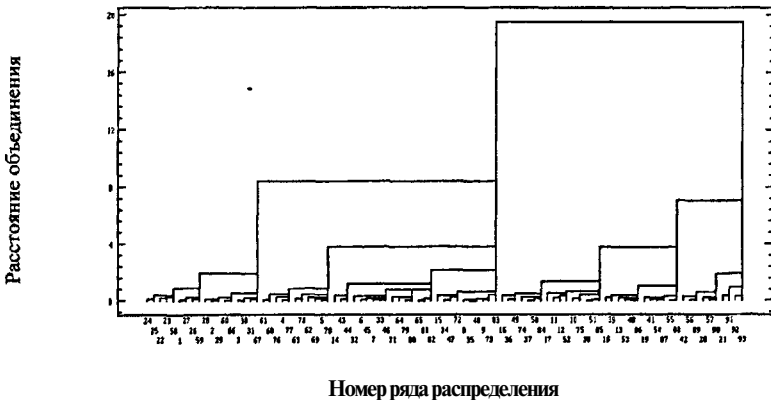


Рис. 5. Дендрограмма кластеризации рядов распределения по стратегии Уорда

Дендрограмма кластеризации в системе главных компонент позволила выделить 8 групп рядов распределения (рис. 5). Достоверность результатов классификации критериально оценена по суммарному межкластерному расстоянию Махаланобиса, равному 141,7 при $P < 0,05$

На рисунке 6 представлено распределение вероятностных характеристик при соответствующем расстоянии ряда распределения до центра кластера. Практически во всех случаях, кроме двух (ряды 14 и 58), значимость расстояния до центра кластера больше 5%-ого уровня, что свидетельствует о достоверном отнесении конкретного ряда к соответствующему классу.

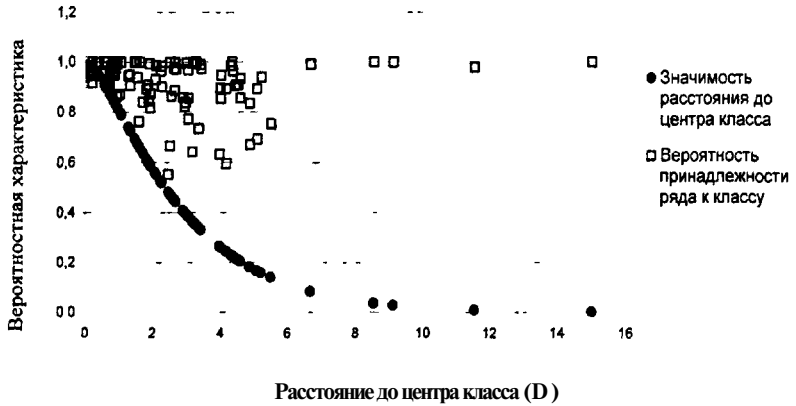


Рис. 6. Распределение показателей вероятности принадлежности рядов распределения к конкретным классу

Наглядно закономерности изменения показателей масштаба и формы от среднего диаметра представлены на рисунках 7 и 8.

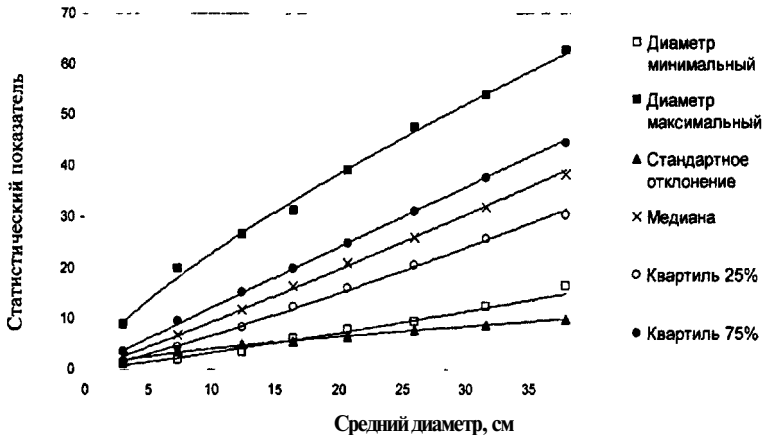


Рис. 7. Взаимосвязь усредненных показателей масштаба вариационных рядов со средним диаметром древостоя после проведенной классификации

Статистические параметры аллометрических уравнений связи (табл.2) указывают на высокую тесноту взаимосвязей между переменными, подтверждая их статистическую достоверность.

Таблица 2.

Статистические параметры уравнений регрессии показателей масштаба и формы

Переменная	Константа начального роста (a)	Аллометрическая постоянная (β)	Коэффициент детерминации (R ²)
d _{min}	0,2344	1,1400	0,981
d _{max}	4,0648	0,7495	0,995
Σ	0,8845	0,6650	0,990
Me	0,7900	1,0729	0,999
X _{25%}	0,469	1,1559	0,999
X _{75%}	1,2572	0,9849	0,999
As	2,8455	-0,7254	0,885
E	5,2396	-0,1834	0,895

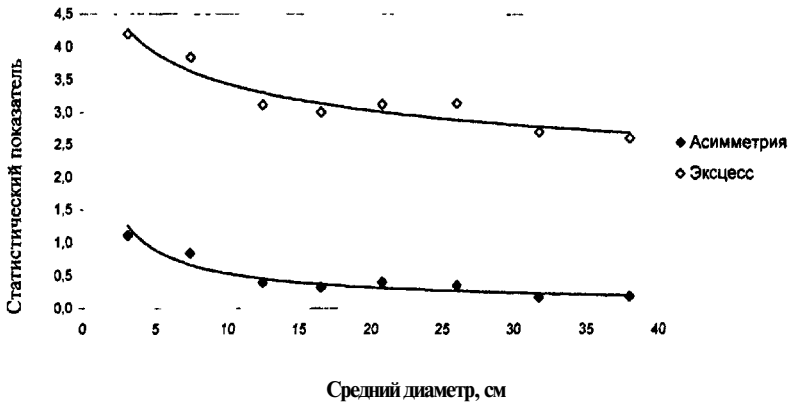


Рис. 8. Зависимость статистических показателей формы вариационных рядов от среднего диаметра древостоя после комплексной классификации

Закономерности изменения асимметрии и эксцесса рядов распределения были рассмотрены во взаимосвязи с показателями, характеризующими основные элементы масштаба (d_{\min} , d_{\max} , D , σ).

В результате статистического моделирования получены уравнения регрессии вида:

$$(As + 1) = \exp\{-0,086 - 0,953 \ln \sigma + 0,081 \ln^2 d_{\min} + 0,363 \ln^2 d_{\max} - 0,357 \ln^2 D + 0,063 \ln^2 \sigma\} \quad (3)$$

$$R^2 = 0,922 \quad t = |1,2; 8,3; 7,6; 16,5; 24,5; 2,0|$$

$$\lim d_{\min} = 0,5-24 \text{ см} \quad \lim d_{\max} = 4,5-72 \text{ см} \quad \lim D = 1,3-44,1 \text{ см} \quad \lim \sigma = 0,97-11,13 \text{ см}$$

$$E = \exp\{1,255 + 0,257 \ln d_{\min} - 1,476 \ln D - 0,114 \ln^2 d_{\min} + 0,38 \ln^2 d_{\max} + 0,073 \ln^2 D - 0,425 \ln^2 \sigma\} \quad (4)$$

$$R^2 = 0,895 \quad t = |9,8; 3,4; 10,8; 4,9; 19,4; 2,4; 9,9|$$

$$\lim d_{\min} = 0,5-24 \text{ см} \quad \lim d_{\max} = 4,5-72 \text{ см} \quad \lim D = 1,3-44,1 \text{ см} \quad \lim \sigma = 0,97-11,13 \text{ см}$$

Ошибки и погрешности полученных уравнений представлены в таблице 3.

Таблица 3.

Функционалы, ошибки и погрешности уравнений взаимосвязи показателей масштаба и формы

Статистический показатель	Функционал	Номер уравнения	Ошибки и погрешности уравнений			
			$\pm \sigma$	$\pm \Delta, \%$	Op, %	$\pm O\sigma, \%$
As+1	$f(d_{\min}, d_{\max}, D_{\text{ср}}, \sigma)$	4.5.1	0,119	7,955	0,317	7,948
E	$f(d_{\min}, d_{\max}, D_{\text{ср}}, \sigma)$	4.5.2	0,282	7,710	0,307	7,704
E	$f(As)$	4.5.3	0,303	8,396	0,624	8,373
E	$f(d_{\min}, d_{\max}, D_{\text{ср}}, \sigma, As)$	4.5.4	0,148	3,636	0,066	3,635

$\pm \sigma$ - абсолютная погрешность уравнения;

$\pm \Delta, \%$ - относительная погрешность уравнения;

Op, % - систематическая ошибка;

$\pm O\sigma, \%$ - случайная ошибка

На основе этих уравнений составлена таблица изменения параметров рядов распределения от среднего диаметра древостоев в диапазоне от 2 до 70 см.

В главе также рассматривается вопрос о выявлении общей закономерности строения древостоев по квантилям вариационного ряда. Результаты моделирования взаимосвязи диаметров деревьев по рангам со средним диаметром древостоев позволяют претендовать на утверждение того, что обнаруженная закономерность является таковой, так как наряду с нашими данными, относящимися к молоднякам, средневозрастным, приспевающим и спелым древостоям, были использованы ряды распределения, охватывающие строение молодняков, средневозрастных, приспевающих и спелых древостоев Северо-Запада и Северо-Востока РФ (А.Г. Мошкалев, В.С. Моисеев, Г.С. Воинов), средневозрастных, приспевающих и спелых древостоев Белоруссии, Украины, Молдавии, Урала, юга Западной Сибири (А.З. Швиденко, В.Ф. Багинский, В.Л. Черных, А.А. Макаренко, Н.Т. Смирнов). Диапазон средних диаметров древостоев составил от 1 до 44 см.

Использование регрессии аллометрической функции $y = ax^{\beta}$ позволило получить для заданного ранга деревьев модель с численными коэффициентами a (константой начального роста) и β (аллометрической постоянной).

Статистические показатели тесноты взаимосвязей диаметров деревьев по рангам со средним диаметром древостоев, погрешности и ошибки уравнений представлены в таблице 4.

Показатели точности моделей по рангам деревьев

Показатель точности	Значения показателей по рангам деревьев										
	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95
R^2	0,962	0,982	0,991	0,995	0,996	0,997	0,997	0,998	0,997	0,995	0,983
$\pm\sigma$, см	0,96	0,83	0,73	0,66	0,60	0,57	0,51	0,54	0,69	1,02	1,56
$\pm\Delta$, %	19,81	11,83	7,28	5,26	4,42	3,60	3,59	2,65	3,18	4,15	6,67
Op, %	1,52	0,63	0,25	0,14	0,11	0,07	0,04	0,03	0,05	0,08	0,03
$\pm O\sigma$, %	19,76	11,81	7,27	5,25	4,42	3,59	3,59	2,65	3,18	4,15	6,67

R^2 - коэффициент детерминации

Высокие показатели тесноты рассматриваемой взаимосвязи и точности уравнений регрессии дали основание для построения моделей изменения численных коэффициентов - константы начального роста и аллометрической постоянной от ранга деревьев. Графическая интерпретация моделей представлена на рисунке 9.

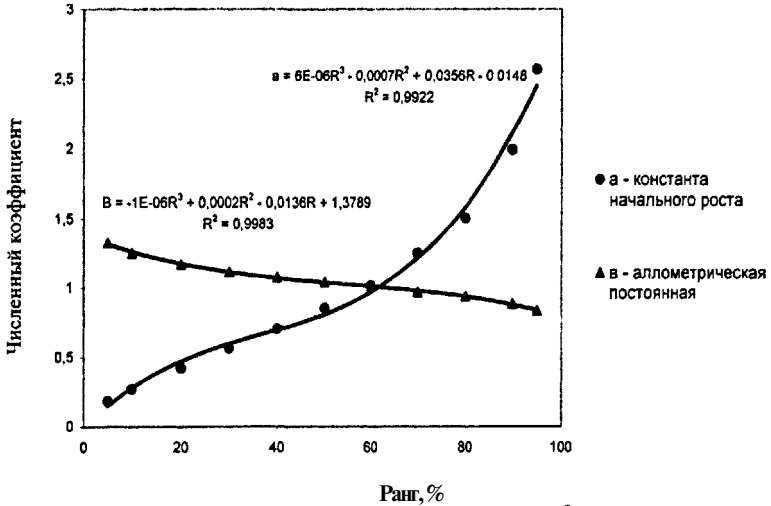


Рис 9. Изменение численных коэффициентов уравнения $y=ax^b$ от ранга деревьев

В окончательном виде модель диаметра деревьев по рангам от среднего диаметра древостоя представлена уравнением общего вида:

$$d^R = \sum a_i R^i \cdot (D_{cp})^{\sum a_i R^i} \quad (5)$$

где: d^R - диаметр при заданном ранге, см;
 a_i - численные коэффициенты полинома;
 R - ранг деревьев по диаметру, %;
 i - показатель степени полинома;
 D_{cp} - средний диаметр древостоя, см

Пределы работы модели 5 ограничены рангом деревьев от 5 % до 95%. Моделирование крайних значений накопленного ряда распределения за указанные пределы частот до ранга 0% и ранга 100% осуществлено по уравнениям множественной регрессии вида:

$$d_{R0\%} = 1,3585 - 0,4128D_{cp} + 1,1926d_{R95\%} \quad (6)$$

$$R^2 = 0,870 \quad t = |3,5; 6,1; 11,5| \quad \lim D = 2-64 \text{ см}$$

$$d_{R100\%} = 0,7348 - 0,5153D_{cp} + 1,6088d_{R95\%} \quad (7)$$

$$R^2 = 0,978 \quad t = |1,0; 2,6; 11,0| \quad \lim D = 2-64 \text{ см}$$

Полученная точность уравнений 6 и 7 вполне достаточна для определения размаха варьирования диаметров по каждому ряду распределения.

Наглядно вся система кривых накопленного распределения частот представлена на рисунке 10.

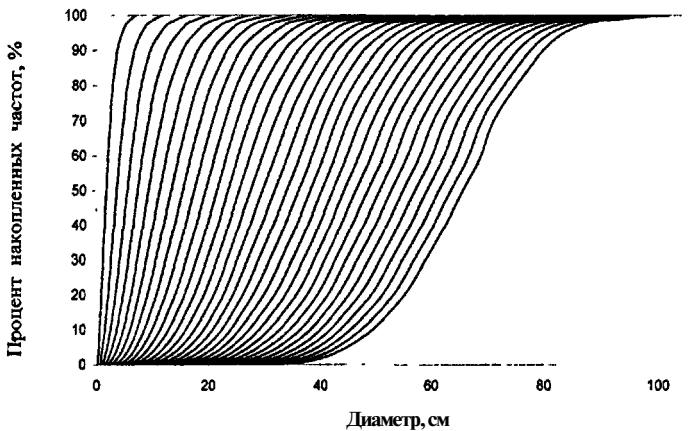


Рис 10. Обобщенные ряды накопленного распределения частот по диаметру

Таким образом, были получены обобщенные ряды распределения деревьев по диаметру, охватывающие различные географические районы произрастания березняков.

В главе подробно рассматривается моделирование взаимосвязи редуционных чисел диаметра деревьев по рангам со средним диаметром древостоя. Рассмотрение этих закономерностей во всем диапазоне средних диаметров от молодняков до спелых древостоев позволил проследить четко выраженное пропорциональное изменение редуционных чисел в пределах ранга с очень высокой степенью точности, описываемое уравнением аллометрической функции с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,835$ для ранга 0% и $R^2 = 0,999$ для всех остальных рангов. Наглядно выявленные закономерности представлены на рисунке 11.

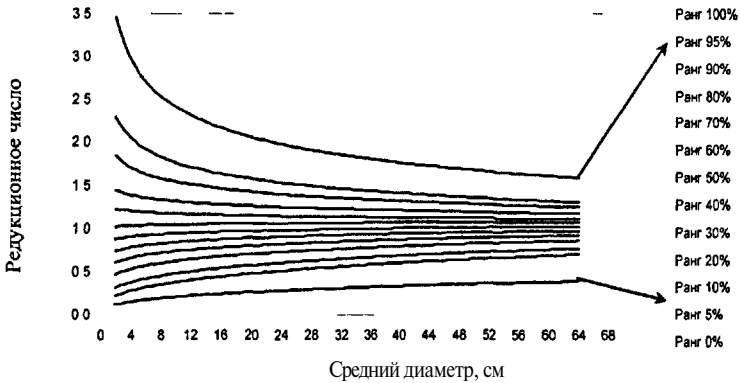


Рис. 11. Изменение редукционных чисел от среднего диаметра по рангам деревьев

В древостоях со средним диаметром от 2 до 12 см, соответствующих молоднякам, веер кривых свидетельствует о ярко выраженной положительной асимметрии и положительном эксцессе. Далее, с увеличением среднего диаметра, а соответственно и возраста кривые распределения приближаются к кривой нормального распределения

В результате анализа широкого многообразия форм кривых распределения был предложен новый способ классификации строения древостоев по форме вариационных рядов. Основу способа составляют данные накопленных частот рядов распределения, соответствующие верхним границам классов от I до IX, так как начало I класса соответствует 0, а верхняя граница X класса - 100%. Девять исходных переменных в виде накопленных частот по каждому эмпирическому ряду подлежали факторному, кластерному и дискриминантному анализам

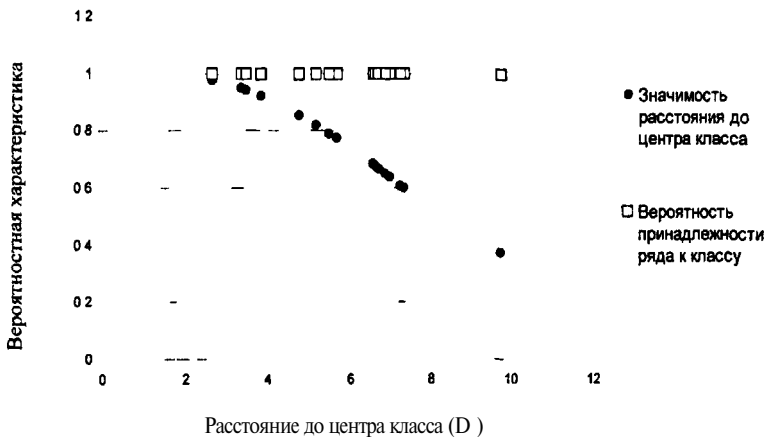


Рис. 12. Распределение вероятностных характеристик принадлежности формы рядов распределения к конкретному классу

Достоверность классификации подтверждена критериально суммарным межкластерным расстоянием Махаланобиса, равным 5780 при значимости $P < 0,05$. Наглядно распределение вероятностных характеристик принадлежности рядов распределения к отдельным классам представлено на рисунке 12.

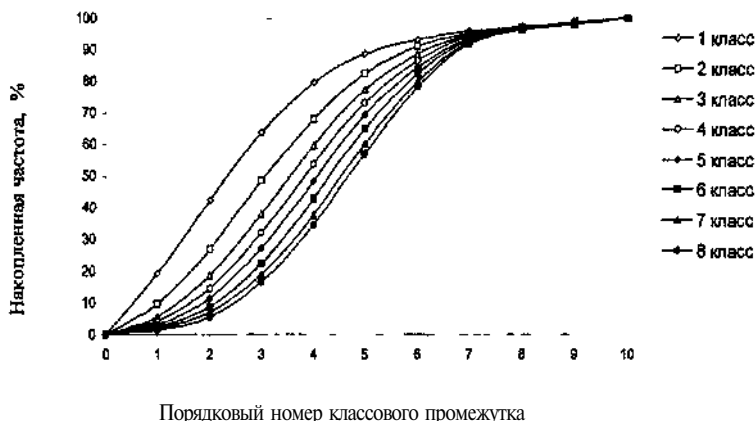


Рис. 13. Изменение формы аккумулятивных рядов распределения деревьев по толщине в 10 классовых промежутках после проведенной классификации

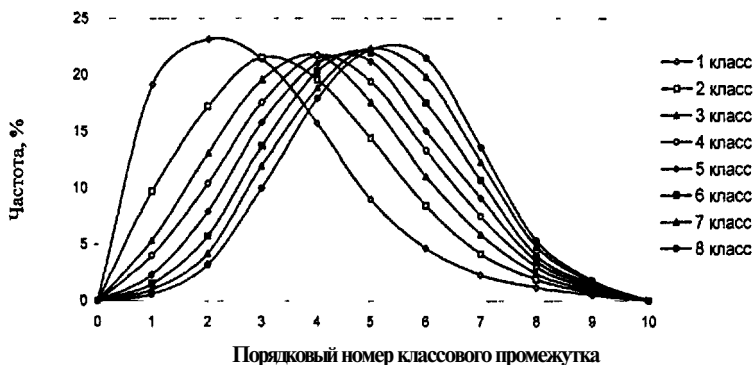


Рис. 14. Изменение формы кривых распределения деревьев по толщине в 10 классовых промежутках после проведенной классификации

Вся совокупность рядов распределения по форме была разделена на 8 классов. Наглядно это представлено на рисунках 13 и 14.

Наличие представленных форм рядов распределения в сочетании с выявленными закономерностями масштаба позволяет получить достоверные теоретические распределения березовых древостоев по диаметру. Таким образом, изложенные в главе 4 результаты исследований позволили осуществить систематизацию строения древостоев и предложить новые пути решения поставленных задач.

5. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВОЗРАСТНОЙ ДИНАМИКИ РОСТА, СТРОЕНИЯ И ПРОДУКТИВНОСТИ ДРЕВОСТОЕВ

Глава посвящена исследованию возрастной динамики средней высоты древостоев. При решении поставленной задачи была проведена систематизация опытных материалов, представленных пробными площадями и данными прицельно-измерительной таксации средних показателей березовых древостоев различного возраста, уровня продуктивности и типов леса.

После проведения компоновки древостоев, отображающей естественный ряд развития, было проведено статистическое моделирование изменения показателей роста с использованием ростовых функций. В отличие от существующих методических приемов, анализ роста по уровням продуктивности (бонитетам) и типам кривых дал возможность получить модели динамики средней высоты древостоев по 1-метровым ступеням высот в 100-летнем возрасте.

В результате была получена модель вида:

$$H_{A_i} = H_{100} \exp \{-5,1146 + 1,7876 \ln(A/100) - 0,1470 \ln^2(A/100)\} \quad (8)$$

$$R^2 = 0,995 \quad t = \{24,2; 37,2; 19,7\} \quad \lim A = 10-100 \text{ лет} \quad \lim \text{Бон. I}^2\text{-III}$$

Наряду со средними высотами, проведено моделирование возрастной динамики запаса сомкнутых березовых древостоев с относительной полнотой 1,0. В результате получено уравнение регрессии вида:

$$M = \exp\{0,2330 + 2,3080 \ln A - 0,2655 \ln^2 A - 1,0511 \ln H_{A_i} + 0,3801 \ln^2 H_{A_i}\} \quad (9)$$

$$R^2 = 0,996 \quad t = \{8,1; 11,0; 9,7; 5,9; 11,7\} \quad \lim A = 10-100 \text{ лет}$$

Система регрессий возрастной динамики средних высот и запасов подлежала сравнению с разработанными Поволжским лесостроительным предприятием эскизами таблиц хода роста березняков четырех лесорастительных районов Нижегородской области, а также с составленными графическим способом таблицами хода роста березовых древостоев Пермской области. Отсутствие ярко выраженных систематических отклонений в линиях возрастной динамики таксационных показателей позволяет рекомендовать полученные модели для разработки таблиц хода роста березняков Среднего Поволжья, фрагмент которых представлен в таблице 5.

Таблица 5

Сравнение средних высот из таблиц хода роста, составленных для разных районов с данными, полученными по модели №8

Район	Средняя высота, м						
	Отклонение, %						
	Возраст						
	20	30	40	50	60	70	80
Бонитет I							
по нашим данным	10,9	15,3	19,0	22,1	24,7	26,9	28,8
Приволжский сосновый район	10,5	15,5	19,2	22,6	24,6	26,0	27,1
Нижегородской обл.	-3,5	1,0	1,0	2,4	-0,3	-3,4	-6,0

Продолжение таблицы 5

Приветлужский елово-пихтовый район Нижегородской обл.	<u>10,3</u> -5,3	<u>15,7</u> 2,3	<u>19,7</u> 3,6	<u>22,5</u> 1,9	<u>24,2</u> -1,9	-	-
Сосновый широколист-венный район Нижегородской обл.	<u>10,5</u> -3,5	<u>14,8</u> -3,5	<u>18,4</u> -3,2	<u>21,5</u> -2,6	<u>24,1</u> -2,3	-	-
Широколиственный район Нижегородской обл.	<u>10,6</u> -2,6	<u>15,1</u> -1,6	<u>19,0</u> -0,1	<u>22,2</u> 0,6	<u>24,5</u> -0,7	<u>26,0</u> -3,4	-
Пермская обл.	- -	<u>16,6</u> 8,2	<u>19,8</u> 4,2	<u>22,3</u> 1,0	<u>24,4</u> -1,1	<u>26,1</u> -3,0	<u>27,4</u> -5,0
Бонитет II							
по нашим данным	9,5	13,4	16,6	19,3	21,6	23,5	25,2
Приволжский сосновый район Нижегородской обл.	<u>8,8</u> -7,6	<u>12,7</u> -5,4	<u>16,3</u> -2,0	<u>19,0</u> -1,6	<u>21,4</u> -0,9	<u>23,2</u> -1,5	-
Приветлужский елово-пихтовый район Нижегородской обл.	<u>8,3</u> -12,8	<u>12,6</u> -6,1	<u>16,2</u> -2,6	<u>19,1</u> -1,1	<u>21,1</u> -2,3	<u>22,5</u> -4,4	<u>23,3</u> -7,7
Широколиственный район Нижегородской обл.	<u>9,5</u> -0,2	<u>13,5</u> 0,6	<u>17,0</u> 2,2	<u>19,8</u> 2,5	<u>22,0</u> 1,9	<u>23,4</u> -0,6	<u>24,1</u> -4,5
Пермская обл.	- -	<u>14,0</u> 4,3	<u>17,0</u> 2,2	<u>19,4</u> 0,4	<u>21,5</u> -0,4	<u>23,0</u> -2,3	<u>24,0</u> -4,9
Бонитет III							
по нашим данным	7,8	11,0	13,7	15,9	17,7	19,3	20,7
Пермская обл.		<u>11,5</u> 4,3	<u>14,0</u> 2,5	<u>16,0</u> 0,8	<u>17,8</u> 0,4	<u>19,5</u> 0,8	<u>20,6</u> -0,6

Производными от возрастной динамики запаса наличного древостоя являются среднее и текущее изменение запаса. На рисунке 15 показано изменение с возрастом этих показателей, что позволяет в первом приближении рассмотреть вопрос о возрасте их совпадения, соответствующем возрасту количественной спелости, который уменьшается по мере снижения уровня продуктивности.

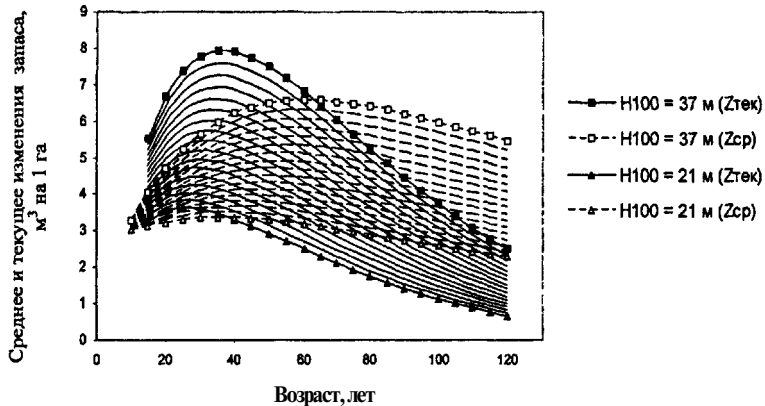


Рис 15. Возрастная динамика среднего и текущего изменения запасов сомкнутых березовых древостоев по 1-метровым ступеням высот в 100-летнем возрасте

Изложенные фрагменты возрастной динамики древостоев следует рассматривать в сочетании друг с другом в разрезе уровней продуктивности, что соответствует требованиям составления стандартных таблиц сомкнутых древостоев с полнотой 1,0.

На рисунке 16 показана взаимосвязь между этими показателями по уровням продуктивности. Сопоставление ее с усредненной линией регрессии, используемой при таксации запасов сомкнутых березовых древостоев, указывает на более детальное рассмотрение в проведенных нами исследованиях закономерностей продуктивности древостоев.

Так, установлена закономерность, что при более высоком уровне продуктивности кривая изменения запасов от средней высоты более вогнута по сравнению с уровнями более низкой продуктивности, что не отображают действующие в Среднем Поволжье лесотаксационные нормативы.

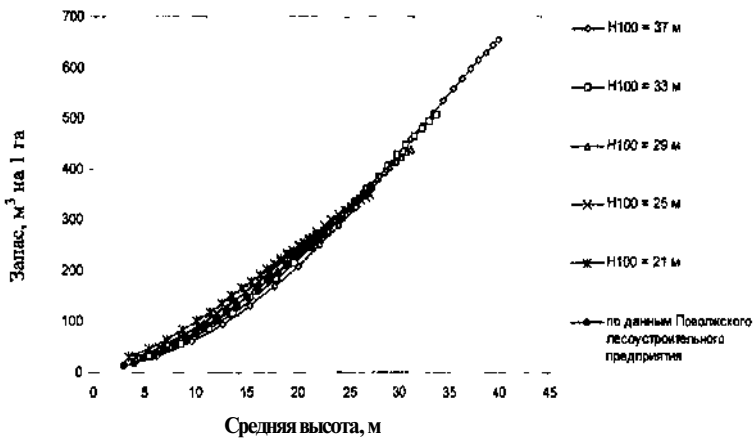


Рис. 16. Сравнение взаимосвязей запаса сомкнутых березняков со средней высотой по классам средней высоты древостоев в 100-летнем возрасте с данными Поволжского лесостроительного предприятия

Также подробно рассмотрен вопрос о возрастной динамике строения древостоев по диаметру. Решение этой задачи напрямую связано с результатами проведенных изысканий, изложенных в главе 3.

Располагая моделью изменения диаметра по рангам деревьев от среднего арифметического диаметра ($D_{\text{ср ар}}$) были произведены расчеты величин d^R для заданного ранга и построены накопленные ряды распределения частот в динамике по десятилетиям для различных уравнений продуктивности древостоев $H_{100} = 37$ м, $H_{100} = 33$ м, $H_{100} = 29$ м, $H_{100} = 25$ м, $H_{100} = 21$ м. Во всех случаях проявляется закономерное изменение с возрастом как формы накопленного процентного ряда распределения, так и размаха варьирования от минимального до максимального диаметра деревьев.

Важным в динамике строения древостоев является вопрос об изменении с возрастом места среднего дерева в ряду распределения. Следует

отметить его изменение с возрастом в древостоях при изменении средней высоты древостоев в 100-летнем возрасте. Наличие этой взаимосвязи подчиняется уравнению регрессии вида:

$$R_{Dcp} = \exp\{3,9533 + 0,0812 \cdot \ln A + 0,0769 \cdot \ln H_{100} - 0,042 \cdot \ln A \cdot \ln H_{100}\} \quad (10)$$

$$R^2 = 0,999 \quad t = |101,8; 7,5; 6,5; 12,8| \quad \lim A = 10-100 \text{ лет} \quad \lim \text{Бон. I}^a\text{-III}$$

Возрастная динамика ранга среднего дерева находится в диапазоне от 58,5-59,3% до 50-53%, подчиняясь вогнутой кривой, наиболее круто проявляясь при увеличении средних высот в 100-летнем возрасте (рис. 17).

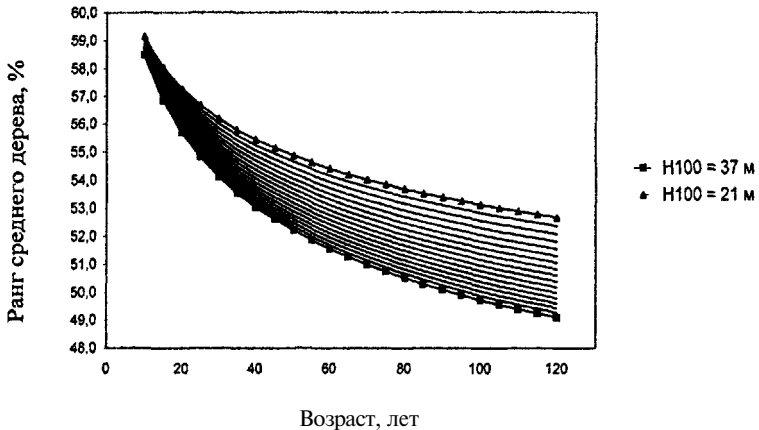


Рис. 17. Возрастная динамика ранга среднего дерева березовых древостоев по ступеням высот через 1 метр в 100-летнем возрасте

Эта закономерность указывает на то, что в лучших условиях (в высоко продуктивных древостоях) кривая распределения деревьев быстрее приобретает форму, близкую к нормальному распределению.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

1. Взаимосвязь текущего радиального прироста с диаметром деревьев имеет в молодняках слегка выгнутое изменение, приближаясь в приспевающих и спелых древостоях к прямой линии.
2. Модель взаимосвязи радиального прироста с диаметром и возрастом деревьев позволяет сделать прогноз строения древостоя от исходного ряда распределения.
3. Предложена система расчета кривых распределения теоретических частот по квантилям вариационного ряда непараметрическим методом.
4. Строение древостоев по всему комплексу статистических показателей масштаба и формы критериально укладывается в 8 классов.
5. Асимметрия и эксцесс рядов распределения деревьев по диаметру тесно взаимосвязаны с показателями масштаба.
6. Накопленный ряд распределения частот вариационного ряда достоверно прогнозируется моделью динамики квантилей по заданным значениям ранга деревьев.
7. Редукционные числа ряда распределения имеют пропорциональное (аллометрическое) изменение от среднего диаметра древостоя по заданным рангам деревьев.
8. Все многообразие кривых распределения деревьев по диаметру по форме ряда укладывается в 8 критериально подтвержденных классов.
9. Существующая до настоящего времени неполная нормативная лесотаксационная база в виде эскизов таблиц хода роста укладывается в рекомендуемые для Среднего Поволжья нормативы с достаточно высокой точностью - до $\pm 5\%$.
10. Взаимосвязь запаса древостоев от средней высоты в сомкнутых древостоях с полнотой 1,0, дифференцированы по уровням продуктивности. Данные Поволжского лесостроительного предприятия укладываются в общую систему кривых.
11. В динамике таксационного строения древостоев место среднего дерева в рядах распределения изменяется в диапазоне от 58,5 : 59,3% до 50:53%.
12. Улучшение условий роста древостоев (повышение уровня продуктивности) раньше формирует древостой с распределением, близким к нормальному.
13. Рекомендованы к использованию при лесостроительном проектировании для обоснования режимов лесопользования новые лесотаксационные нормативы возрастной динамики роста, строения и продуктивности березняков Среднего Поволжья.
14. Предложенные в исследовании новые методические приемы систематизации возрастной динамики роста, строения и продуктивности древостоев могут быть использованы в учебном процессе и при проведении научных исследований в более широких масштабах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНО

в сборниках научных трудов и других изданиях:

1. Хлюстов Д.В. Изменение фитомассы по длине ствола деревьев разного размера и возраста// Лесное хозяйство Нижегородской области/ сб. науч. тр. -Н.Новгород, 2000. -с. 92-94.(Соавторы: Хлюстов В.К., Зыков А.В.).
2. Хлюстов Д.В. Зависимость массы хвои от размера деревьев// Лесное хозяйство Нижегородской области/ сб. науч. тр. -Н.Новгород, 2000. - с. 94-96. (Соавторы: Хлюстов В.К., Зыков А.В.).
3. Хлюстов Д.В. О систематизации кривых непрерывного распределения случайных величин // Актуальные проблемы лесного хозяйства и рациональное использование природных ресурсов Нижегородской области/ сб. науч. тр. -Н.Новгород:НГСХА.2002-с. 260-264. (Соавторы: Хлюстов В.К.).
4. Хлюстов Д.В. Прогнозирование роста и самоизреживания березовых древостоев // Актуальные проблемы лесного хозяйства и рациональное использование природных ресурсов Нижегородской области/ сб. науч. тр. - Н.Новгород: НГСХА. 2002. - с. 264-267.
5. Хлюстов Д.В. Статистическая оценка взаимосвязи текущего прироста с размерами деревьев // Актуальные проблемы лесного хозяйства и рациональное использование природных ресурсов Нижегородской области/ сб. науч. тр. -Н.Новгород: НГСХА. 2002. - с. 267-271.
6. Хлюстов Д.В. Классификация разнообразия рядов распределения саксаула черного по величине крон // Актуальные проблемы лесного хозяйства и рациональное использование природных ресурсов Нижегородской области/ сб. науч. тр. -Н.Новгород: НГСХА. 2002. - с. 277-282. (Соавторы: Хлюстов В.К., Азенов М.Х.).
7. Хлюстов Д.В. Прогнозирование роста и самоизреживания березняков Евразии / Мат. II Междунар. конфер. молод. уч.,посв. проф И.К.Пачорскому «Леса Евразии в XXI веке: Восток - Запад », 1-5 окт. -М.: МГУЛ, 2002. - с.81-83. (Соавторы: Харин О.А.).
8. Хлюстов Д.В. Применение многомерных статистических методов при классификации строения березовых древостоев различных лесорастительных регионов/ Мат. Всероссийской, науч.-практ. конфер. «Проблемы экологии и охраны природы. Пути их решения», 18-19 нояб. Т. 31. «Биологические науки». -Ульяновск: УлГУ, 2003. - с.143-146. (Соавторы: Харин О.А., Хлюстов В.К.).
9. Хлюстов Д.В. Статистическое моделирование формы рядов распределения деревьев по толщине в березовых древостоях ресурсов / Мат. III Междунар. науч.-практ. конфер. «Динамика научных достижений - 2004», 21-30 июня. Т. 31. «Биологические науки». -Днепропетровск: «Наука I освіта», 2004. - с.45-48.
10. Хлюстов Д.В. Ход роста и строение сомкнутых березовых древостоев Среднего Поволжья (с графическим приложением). Справочник. -Н.Новгород: ФГУП «Поволжский леспроект», 2004. - 101 с. (Соавторы: Хлюстов В.К., Харин О.А.).

Отпечатано с готового оригинала

Лицензия ПД № 00326 от 14.02.2000 г.

Подписано к печати 26.11.04	Формат 60×88/16
Бумага 80 г/м ² "Снегурочка"	Ризография
Объем 1 л	Тираж 100 экз.
	Заказ № 792

Издательство Московского государственного университета леса
141005. Мытищи-5, Московская обл, 1-я Институтская, 1, МГУЛ.
Телефоны: (095) 588-57-62, 588-53-48, 588-54-15. Факс: 588-51-09.
E-mail. izdat@mgul.ac.ru

№25234