

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

УДК 630\*566:630\*17

ТОЛКАЧ Игорь Владимирович

СТРОЕНИЕ И РОСТ ЕСТЕСТВЕННЫХ СОСНОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ  
БЕЛОВЕЖСКОЙ ПУЩИ

Специальность 06.03.02 - Лесоустройство и лесная таксация

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата сельскохозяйственных наук

Минск 1997

Работа выполнена на кафедре лесоустройства в Белорусском государственном технологическом университете

Научный руководитель      доктор сельскохозяйственных наук,  
профессор Атрошенко О. А.

Официальные оппоненты:    доктор сельскохозяйственных наук,  
профессор Вагинский В. Ф.;

кандидат сельскохозяйственных  
наук Романовский В. П.

Опоянирующая организация    производственное объединение  
"Белгослес"

Защита состоится 6 марта 1997 года в 10<sup>00</sup> часов на заседании совета по защите диссертаций Д 02.08.05 в Белорусском государственном технологическом университете по адресу: 220 330, г. Минск, ул. Свердлова 13<sup>а</sup>.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского государственного технологического университета.

Автореферат составлен "\_\_\_" \_\_\_\_\_ 1997 г. а.

Ученый секретарь совета Д 02.08.05,  
кандидат биологических наук

*В. И. Блинцов*  
Блинцов А. И.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. Актуальность темы диссертации обусловлена концепцией развития лесного хозяйства Республики Беларусь.

В соответствии с международным "Проектом развития лесного хозяйства Республики Беларусь" создается информационная система управления лесным хозяйством. Для эффективного управления лесным хозяйством как на общереспубликанском, так и на местном уровнях необходимо иметь текущие актуализированные данные о лесных ресурсах, динамическую систему планирования, контроля и управления лесным хозяйством.

В республике разрабатывается и внедряется технология непрерывного лесоустройства, основой которой является повыведельный банк данных.

В НП "Беловежская пуца" выполняется международный проект сохранения биологического разнообразия лесов Беловежской пуцы. В соответствии с ним создана геоинформационная система (включая картографическую информацию о лесных ресурсах и повыведельную базу данных).

Переход к компьютерным технологиям, создание информационных систем требуют разработки имитационных моделей строения, роста и производительности древостоев, программного обеспечения на ПЭВМ. Табличные модели в виде которых представлены нормативные материалы лесоустройства, не являются достаточно гибкими для использования на ПЭВМ и значительно увеличивают объем исходных данных. Особенно актуальное значение приобретают модели строения и роста древостоев Беловежской Пуцы - уникальных эталонов естественных насаждений в республике.

Связь с научно-исследовательскими темами. Исследования явились составной частью научно-исследовательских тем и проектов:

- ГВ 86-1 "Разработка научных основ и технологий лесовыращивания хвойных пород в зоне интенсивного лесного хозяйства";
- Республиканской научно-технической программы 33.01 РЧ "Древесные ресурсы", ГВ 91-29 "Разработать и ввести в эксплуатацию программные средства и автоматизированную систему учета лесных ресурсов".

Цели и задачи исследования. Целью работы является исследо-

вание закономерностей строения, хода роста и производительности естественных сосновых древостоев Беловежской пуши, разработка имитационных моделей, отражающих взаимосвязи между таксационными показателями, таблиц строения и хода роста сосняков мшистых и черничных.

Научная новизна полученных результатов. Выявлены закономерности строения и роста естественных сосновых древостоев Беловежской пуши мшистого и черничного типов леса. Изучены взаимосвязи между таксационными показателями древостоев и построены регрессионные модели связи. Составлены таблицы строения и хода роста сосняков мшистых и черничных. Впервые для Беловежской пуши разработана имитационная система моделирования строения древостоев по диаметру, система моделирования хода роста и производительности сосновых древостоев.

Практическая значимость результатов. Разработана имитационная система моделирования строения и хода роста древостоев на ПЭВМ. Система позволяет по данным выборочной или перечислительной таксации древостоев получать лесотаксационные нормативные материалы в виде таблиц строения и хода роста сосновых древостоев по типам леса. Разработаны таблицы строения и хода роста сосновых древостоев естественного происхождения Беловежской пуши мшистого и черничного типов леса. Имитационная система моделирования строения и роста сосновых древостоев внедрена в НИ "Беловежская пуша" (акт внедрения от 15 января 1997 г). Таблицы хода роста и строения сосновых древостоев используются в лесоустроительном проектировании ПО "Белгослес" (акт внедрения от 28 декабря 1996 г).

Экономическая значимость полученных результатов. Экономическая значимость полученных результатов заключается в снижении затрат на разработку лесотаксационных нормативов, возможности использования полученных моделей, таблиц строения роста и производительности насаждений для контроля и управления лесами (таксация лесов, оценка строения древостоев по диаметру, запаса растущего древостоя и запаса отпада, оценка производительности насаждений), повышении надежности лесоустроительного проектирования.

Основные положения, выносимые на защиту. Автором научно обоснованы и выдвигаются на защиту следующие основные положения диссертационной работы:

1) методика моделирования строения, роста и производительности сосновых насаждений Беловежской пуши;

2) закономерности строения, хода роста и производительности сосновых древостоев в мшистом и черничном типах леса;

3) имитационная система моделирования строения сосновых древостоев, позволяющая получать распределение деревьев по диаметру на основе выборочной таксации древостоев или данных лесоустройства;

4) имитационная система моделирования хода роста и производительности древостоев на ПЭВМ;

5) таблицы хода роста и производительности естественных сосновых насаждений Беловежской пуши мшистого и черничного типов леса;

6) таблицы строения по диаметру сосняков мшистых и сосняков черничных.

Личный вклад соискателя. Автору принадлежит постановка задачи, разработка методических положений ее решения, сбор экспериментального материала (совместно с работниками научного отдела Беловежской пуши) и его анализ, разработка алгоритмов и программ на ПЭВМ, разработка имитационной системы моделирования строения и хода роста древостоев, таблиц строения и хода роста сосновых древостоев Беловежской пуши.

Апробация результатов диссертации. Основные методические положения диссертации и результаты исследований докладывались на научных конференциях в Белорусском государственном технологическом университете (1986-1986 гг.), в Алма-Ате (1989 г.), в Москве (1990 г.).

Опубликованность результатов. Материалы исследований по теме диссертации опубликованы в девяти работах (в том числе четыре статьи). Одна работа находится в печати.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 176 страницах машинописного текста и состоит из введения, 4 глав, выводов (131 стр.), списка использованных источников и приложений (45 стр.). Она включает 36 рисунков, 25 таблиц и 5 приложений. Список используемой литературы содержит 219 наименований, в том числе 22 на иностранном языке. Работа выполнена на кафедре лесоустройства Белорусского государственного технологического университета.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

### ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

В литературном обзоре рассматриваются работы, посвященные изучению закономерностей строения и роста древостоев.

Начало изучению положили в 1890-1914 годах Вейзе, Виммер-науер, Гуттенберг, Герхардт, Виммер, Шиффель, Фекетте. Исследования А.В.Тюрина (1945), Н.В.Третьякова (1927), Н.П.Анучина, (1982), В.И.Лезина (1966) и др. показали, что распределение деревьев в древостое близко к нормальному. Исследования И.И.Гусева (1960,1962,1981), Л.Ф.Ипатова (1974), А.А.Макаренко (1975, 1982), В.Ф.Вагинского (1982,1985), К.Е.Никитина (1978,1966), А.И.Паташкиса (1964,1967), Н.Н.Свалова (1979,1982), С.А.Атрощенко (1985), Продана (1961), С.Сетха, К.Сатимурти, Г.Неги (1975), Ж.Клуттера, В.Алисона (1973) и других показали, что оптимальные распределения, как правило, отличаются от нормального и имеют асимметрию и эксцесс. Для моделирования строения древостоев по диаметру использовались функции нормального, логарифмически-нормального, гамма-распределения, бета-распределения, распределения Вейбула, система кривых Пирсона, распределение Пуассона, кривая Грама-Шарлье.

Основные методы, применяемые при составлении таблиц хода роста древостоев, отражены в работах Н.Н.Свалова (1979), Н.П.Анучина (1982), В.В.Кувьмичева (1977), В.В.Антанайтиса (1977), В.Ф.Вагинского (1996), П.В.Воропанова (1966), В.В.Загреева, В.П.Закутина, Н.Н.Гусева (1973,1979,1985).

В связи с быстрым развитием вычислительной техники перспективным направлением изучения закономерностей строения и роста древостоев является моделирование на ЭВМ. Вопросы моделирования роста леса на ЭВМ даны в работах В.В.Антанайтиса (1977,1983), Н.Н.Свалова (1979,1983), А.В.Швиденко, К.Е.Никитина (1972,1978), О.А.Атрощенко (1980,1993) и др. Анализ публикаций показал, что для разработки информационных систем, лесоуправляющего проектирования и планирования лесохозяйственных мероприятий, прогноза роста используются имитационные модели строения, роста и производительности древостоев.

## ПРОГРАММА, МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В соответствии с целью исследований программой предусмотрено решение следующих задач: 1) аналитический обзор литературы; 2) разработка методики исследования; 3) сбор опытных данных (перечислительная таксация основных древостоев, закладка модельных деревьев) и их обработка; 4) статистический анализ строения древостоев по диаметру; 5) изучение взаимосвязей между таксационными показателями деревьев в древостоях и разработка моделей, отражающих данные взаимосвязи; 6) разработка имитационной системы моделирования строения, роста и производительности древостоев на ЭВМ; 7) создание таблиц строения и хода роста сосновых древостоев смешанного и черничного типов леса; 8) оценка точности разработанных моделей строения и роста древостоев.

Таксация древостоев на постоянных и временных пробных площадях проводилась по общепринятой методике в соответствии с ОСТ 56-69-83 "Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки.", При вычислении таксационных показателей (среднего диаметра, средней высоты, абсолютной и относительной полноты древостоя) использовались общепринятые методы. Запас для каждой породы определялся как сумма объемов стволов деревьев. Для определения видовой высоты использовалась модель, разработанная проф. О.А.Атрошенко (1985). На всех постоянных пробных площадях определялся абсолютный и относительный текущий среднепериодический прирост по сумме площадей сечений.

Математико-статистическая обработка экспериментальных данных строения древостоев по диаметру выполнены на ЭВМ с использованием программ, разработанных О.А.Атрошенко, и пакета прикладных программ "STATGRAF". Все опытные распределения сглаживались функциями нормального, логарифмически-нормального, гамма-и  $\beta$ -распределений. На основе анализа результатов статистической обработки и результатов аппроксимации, по  $\chi^2$  критерию согласия Пирсона выбиралось теоретическое распределение.

Регрессионный анализ связей таксационных показателей в древостое выполнен на ЭВМ с использованием пакета прикладных программ "STATGRAF" и программы, разработанной В.П.Машковским. В качестве модели отбирались регрессии, имеющие значимые (на уровне 5%) коэффициенты по  $t$ -критерию Стьюдента, достоверные по  $F$ -критерию Фишера, с коэффициентом детерминации ( $R^2$ ) не ниже

80%, относительной ошибке оценки зависимой переменной ( $S_y$ ) 5-10%, выполнялся анализ остатков.

Объектом исследования послужили чистые сосновые древостои III "Беловежская пуца" мшистого и черничного типов леса, I-VIII классов возраста, естественного происхождения, не подвергнутые прямому антропогенному воздействию. Экспериментальный материал представлен данными перечислительной таксации древостоев на 30 постоянных пробных площадях, данными перечислительной таксации древостоев на 21 временной пробной площадке и данными анализа хода роста стволов у 56 модельных деревьев, отображенных рядом с таксируемыми пробными площадями. Определение типа леса выполнено на основе исследований морфологического строения почв, механического и химического анализе почв, подроста, подлеска, живого напочвенного покрова.

Группировка собранного материала по естественным рядам роста и развития и проверка материала на гомогенность выполнялась комбинированным методом, включающим в себя элементы типологического метода, аналитического метода, метода ЛенНИИЛХа и метода Гейера.

#### МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРОЕНИЯ ДРЕВОСТОЕВ

Статистический анализ рядов распределений по диаметру показал определенную зависимость между значениями статистик и возрастом древостоев. С увеличением возраста увеличивается среднее квадратическое отклонение и размах распределения, уменьшаются показатели асимметрии, эксцесса и коэффициент вариации распределений. При достижении древостоем возраста 75-85 лет распределение диаметров деревьев имеет небольшие положительные значения коэффициента асимметрии, отрицательные значения эксцесса и приближается к нормальному.

Проведенные исследования показали, что изменение величины ступени толщины незначительно сказывается на величине среднего значения и среднеквадратического отклонения, а величина показателей асимметрии и эксцесса может изменяться в больших пределах. Поэтому, наиболее эффективными показателями связи при моделировании строения древостоев по диаметру являются минимальный, максимальный и средний диаметры, размах распределения и стандартное отклонение. Эти показатели имеют тесную связь с

формой распределения, сравнительно легко могут быть определены, хорошо коррелируют с другими таксационными показателями.

Минимальный и максимальный диаметры древостоев ( $D_{\min}$ ,  $D_{\max}$ ) имеют тесную связь со средним диаметром ( $D$ ), которая выражается линейной функцией (1,2).

$$D_{\min} = -1,30251 + 0,54003 \cdot D, \quad (1)$$

$$R^2 = 0,878; F = 440; S_y = 9,46\%$$

$$D_{\max} = 14,28020 + 1,07580 \cdot D, \quad (2)$$

$$R^2 = 0,877; F = 434; S_y = 6,33\%$$

Оценка среднеквадратического отклонения (6) выполнена по множественной линейной регрессии (3) связи с размахом распределения, средним диаметром и суммой площадей сечений ( $G$ ).

$$6 = 0,094507 \cdot (D_{\min} - D_{\max}) + 0,095764 \cdot D + 0,022689 \cdot G, \quad (3)$$

$$R^2 = 0,997; F = 5934; S_y = 6,34\%$$

Сглаживание опытных распределений деревьев по диаметру выполнено функциями нормального, логарифмически-нормального, гамма и бета-распределений. Анализ результатов показал, что наиболее универсальным является бета-распределение (лучшие результаты в 92% случаев), хорошо описывающее опытные распределения с различными величинами асимметрии и эксцесса.

На основе функции бета-распределения, моделей связи таксационных показателей деревьев в древостое и параметров бета-распределения разработана имитационная система, позволяющая по таксационным показателям древостоя имитировать распределение числа деревьев по ступеням толщины. Исходными данными для имитации распределения числа стволов по ступеням толщины являются сумма площадей сечений ( $G$ ) или число деревьев на гектаре ( $N$ ), средний (таксационный) диаметр древостоя ( $D$ ), минимальный ( $D_{\min}$ ) и максимальный ( $D_{\max}$ ) диаметры деревьев в древостое. Определить эти показатели можно выборочными методами без трудоемкой сплошной перечислительной таксации древостоев.

Для проверки точности и надежности работы системы моделирования на 15 контрольных пробных площадях выполнено моделирование строения древостоя и вычислены таксационные показатели по

данным теоретически полученного распределения числа деревьев по ступеням толщины. Результаты проверки показали, что ошибка определения таксационных показателей по данным теоретического распределения не превышает 1,5% при оценке суммы площадей сечений, 4,4% при оценке запаса древостоя и 2,0% при оценке количества деревьев на гектаре. Ошибка при оценке среднего диаметра и средней высоты составляет 0,4% от абсолютной величины показателя. Выполнен эксперимент с моделью на ЭВМ, в результате которого оценивалась точность определения таксационных показателей при допущенных ошибках в исходных данных  $\pm 10\%$ . Результаты эксперимента показали достаточно высокую точность работы системы.

С использованием системы моделирования строения древостоев разработаны таблицы строения по диаметру (табл. 1) естественных сосновых древостоев Беловежской пуши для типов леса С. мшистый и С. черничный. Анализ таблицы показал, что в младшем возрасте большее число деревьев сгруппировано в центральных ступенях толщины (до 50%), распределения имеют значительные величины асимметрии и эксцесса (асимметрии - 1,8-1,9, эксцесса - 1,3). В возрасте 150 лет распределение имеет незначительную отрицательную кривую, нулевой эксцесс и значительное (в 2 раза) увеличение размаха распределения (рис. 1).

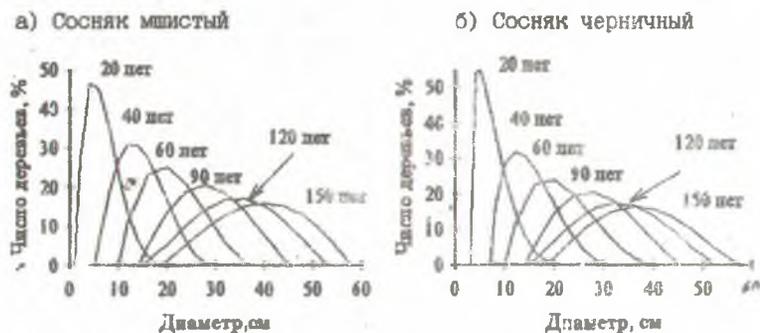


Рис. 1. Динамика строения древостоев по диаметру

Разработанная система моделирования строения древостоев по диаметру позволяет решать практические задачи: 1) получать на основе таксационных показателей древостоя перечень деревьев по

Таблица 1  
Динамика распределения числа деревьев в древостое (% по ступеням толщины)

Возраст на ступени, лет	Номер ступени толщины по порядку														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<b>Сосняк мшистый</b>															
20	13,6	23,3	22,5	17,5	11,7	6,7	3,2	1,2	0,3	-	-	-	-	-	-
40	-	-	3,0	9,2	13,5	15,4	15,3	13,8	11,3	8,3	5,5	3,1	1,3	0,3	-
60	-	-	11,2	23,2	25,2	20,8	13,3	5,6	0,7	-	-	-	-	-	-
80	-	-	2,4	10,5	17,3	20,5	19,7	15,6	9,7	3,9	0,4	-	-	-	-
100	-	-	-	3,0	10,3	15,9	18,7	18,6	15,8	11,1	5,6	1,0	-	-	-
120	-	-	-	1,1	5,5	10,4	14,4	16,8	17,1	15,3	11,5	6,5	1,4	-	-
140	-	-	-	-	1,9	7,0	11,6	14,7	16,3	16,0	14,1	10,6	6,2	1,6	-
150	-	-	-	-	1,4	5,4	9,5	12,9	15,2	16,0	15,2	12,8	8,6	3,0	-
<b>Сосняк черничный</b>															
20	-	29,1	25,2	18,6	12,5	7,7	4,2	1,9	0,7	0,1	-	-	-	-	-
40	-	-	9,3	14,3	15,9	15,4	13,6	11,1	8,5	6,0	3,8	2,1	0,9	0,2	-
60	-	-	11,6	22,8	24,0	19,7	13,1	6,6	2,1	0,1	-	-	-	-	-
80	-	-	2,4	10,5	17,3	20,5	19,7	15,6	9,7	3,9	0,4	-	-	-	-
100	-	-	-	3,6	11,5	17,0	19,2	18,3	14,9	10,0	4,7	0,7	-	-	-
120	-	-	-	1,5	6,9	12,2	16,0	17,6	16,8	13,9	9,6	4,7	0,8	-	-
140	-	-	-	-	2,9	8,9	13,5	16,3	17,3	16,3	13,3	8,7	2,8	-	-
150	-	-	-	-	2,3	7,8	12,4	15,4	16,5	15,8	13,4	9,8	5,3	1,2	-

Примечание. Ступень толщины определяется как произведение номера ступени на величину ступени толщины.

ступеням толщины; 2) получать в дополнение к таблицам хода роста таблицы динамики строения древостоев; 3) представлять данные перечета деревьев на основе выборочных методов таксации древостоя или по данным лесоустройства; 4) составлять таблицы динамики товарности древостоев.

### МОДЕЛИРОВАНИЕ РОСТА И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ДРЕВОСТОЕВ

Таблицы хода роста и производительности древостоев составлены с классификацией по типам леса. Абсолютная полнота 1,0 древостоев определялась на основе трехкратного среднеквадратического отклонения сумм площадей сечений от среднего уровня (рис. 2). Модель связи сумм площадей сечений (G) со средней высотой древостоев (H) имеет вид:

$$G = [(H-1)/(0,498712 + 0,275875 \cdot (H-1))]^3, \quad (4)$$

$$R^2 = 0,928; S_y = 9,7\%; F = 1363.$$

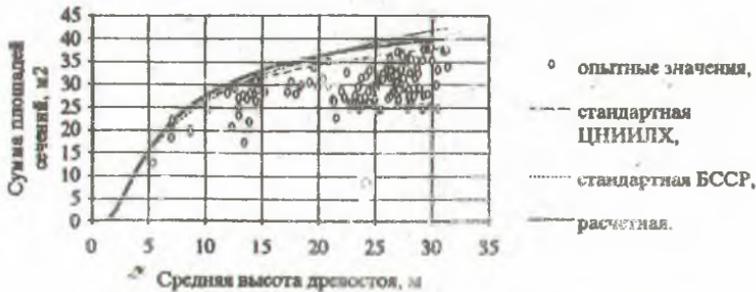


Рис. 2 Зависимость сумм площадей сечений от средней высоты основных древостоев

Для выравнивания хода роста древостоя по диаметру, высоте и сумме площадей сечений использованы функции, апробированные и рекомендованные для этой цели А.К.Кивисте (1988). В качестве модели хода роста древостоя по высоте (H) лучшие результаты показала функция Странда.

Сосняк мшистый: 
$$H = [A/(4,010713 + 0,293541 \cdot A)]^3, \quad (5)$$

$$R^2 = 0,971; S_y = 4,7\%; F = 13282.$$

$$\text{Сосняк черничный: } H = [A / (3,443169 + 0,300827 \cdot A)]^3, \quad (6)$$

$$R^2 = 0,928; S_y = 5,0\%; F = 13201,$$

где А - возраст древостоя, Н - средняя высота древостоя.

Связь между высотой ( $H^0$ ) и диаметром ( $D^0$ ) деревьев отпада выражается регрессиями (7, 8).

$$\text{Сосняк мшистый: } H^0 - 1,3 = [D^0 / (2,06515 + 0,278557 \cdot D^0)]^3, \quad (7)$$

$$R^2 = 0,963; S_y = 7,5\%; F = 9005.$$

$$\text{сосняк черничный: } H^0 - 1,3 = [D^0 / (1,94736 + 0,280173 \cdot D^0)]^3, \quad (8)$$

$$R^2 = 0,965; S_y = 4,6\%; F = 15893.$$

Оценка среднего диаметра древостоя выполнена по модели связи с высотой (Н), возрастом (А) и суммой площадей сечений.

$$D = -0,752831 \cdot H^2 / A - 0,001962 \cdot G^2 + 0,026548 \cdot 1,2^H + 1,349266 \cdot H, \quad (9)$$

$$R^2 = 0,994; S_y = 8,3\%; F = 5908.$$

Наиболее вероятные значения процента текущего  $\bar{O}$  среднепериодического прироста древостоя по сумме площадей сечений определялись по уравнениям множественной линейной регрессии с возрастом и высотой (10, 11).

Сосняк мшистый:

$$P_{ZG}^n = 0,0331 + 39,629288 / (A - (A/H)^2) + 196,707415 \cdot H / A^2, \quad (10)$$

$$R^2 = 0,812; S_y = 10,3\%; F = 78.$$

Сосняк черничный:

$$P_{ZG}^n = -0,311 + 109,278055 / (A - (A/H)^2), \quad (11)$$

$$R^2 = 0,782; S_y = 15,3\%; F = 69.$$

Разработана имитационная модель хода роста и производительности древостоев на ПЭВМ. В качестве исходных данных для построения таблиц хода роста используются уравнения, отражающие ход роста по высоте, диаметру, приросту по сумме площадей сечений и уравнения связи диаметров и высот растущего древостоя и отпада.

Проверка системы моделирования хода роста и производитель-

ности древостоев выполнена на основании данных таксации древостоев на контрольных постоянных пробных площадях. Анализ результатов показал, что опытные значения и значения, полученные путем моделирования, близки между собой. Разница между расчетной высотой деревьев отпада и опытными значениями не превышает 10%. Ошибка определения среднего диаметра отпада значительно ниже и при точном определении текущего прироста древостоя по сумме площадей сечений не превышает 0,5%. Однако необходимо отметить, что точность определения среднего диаметра отпада значительно зависит от точности оценки среднего диаметра растущего древостоя и точности оценки текущего прироста по сумме площадей сечений. Ошибка оценки запаса растущего древостоя не превышает 6,5%, запаса отпада 15%.

С использованием системы моделирования получены таблицы хода роста сосняков мшистых и сосняков черничных естественного происхождения (табл. 2, 3). Выполнена сравнительная оценка полученных таблиц с таблицами, разработанными другими авторами. Анализ результатов сравнения показал, что ход роста по высоте и диаметру близок к данным, полученным О.А.Атрощенко, В.Ф.Багинским, В.Е.Ермаковым, Н.Ф.Ловчим, В.К.Захаровым. Можно отметить некоторое увеличение общей производительности по сравнению с данными названных авторов. Общая производительность близка по своим значениям к значениям по таблицам В.Ф.Багинского.

ВЫВОДЫ

1. Установлены закономерности изменчивости основных статистических показателей распределений деревьев по диаметру в сосновых древостоях. С увеличением возраста древостоев от 20 до 150 лет среднеквадратическое отклонение увеличивается от 3,6 до 5;3 см, показатели асимметрии уменьшаются от 1,31 до 0,2, эксцесса - от 1,85 до -0,5. Уменьшение асимметрии и эксцесса с возрастом идет интенсивно до 70-80 лет. К возрасту 150 лет значительно (почти в 2 раза) увеличивается размах распределения и уменьшается от 30,6% до 18,9% коэффициент вариации диаметров деревьев.

2. Изучены модели нормального, логарифмически-нормального, гамма- и бета-распределений. Лучшие результаты по хи-квадрат критерию согласия Пирсона в 92% случаев показала модель бе-

Таблица 2  
Ход роста естественных сосновых древостоев Беловежской пуши. Сосняк мшистый

Возраст лет	Высота, м			Диаметр, см			Растущее древостое			Отпад			Общая производительность, м <sup>3</sup>	Прирост по запасу	
	Высота, м	Диаметр, см	Возраст, м	Высота, м	Диаметр, см	Возраст, м	Число стволов, шт	Сумма площадей сечений, м <sup>2</sup>	Видовое число	Запас, м <sup>3</sup>	Сумма площадей сечений, м <sup>2</sup>	Запас, м <sup>3</sup>		Сумма промежуточных годовых приростов, м <sup>3</sup>	Средний, м <sup>3</sup>
10	3,0	3,3	7927	6,8	0,748	15									
20	8,3	7,5	5486	24,5	0,544	111	2,6	3,1	1,5	3	3	114	5,7	10,6	12,4
30	12,8	11,6	2964	31,1	0,501	200	7,3	7,2	4,1	17	30	229	7,6	11,8	6,6
40	16,4	15,3	1859	34,1	0,483	27	11,5	10,8	4,1	24	75	345	8,6	11,4	4,5
50	19,2	18,7	1308	35,8	0,474	325	14,9	14,0	3,6	26	127	452	9,0	10,5	3,4
60	21,4	21,7	995	36,9	0,468	369	17,6	17,0	3,1	26	180	549	9,1	10,4	2,5
70	23,2	24,5	798	37,6	0,464	405	19,7	19,7	2,7	25	230	635	9,1	8,4	2,1
80	24,6	27,0	665	38,2	0,462	434	21,4	22,2	2,3	23	278	712	8,9	7,5	1,8
90	25,9	29,4	570	38,6	0,460	459	22,8	24,5	2,1	22	322	761	8,7	6,7	1,5
100	26,9	31,5	499	38,9	0,458	480	24,0	26,6	1,8	20	364	844	8,4	6,1	1,3
110	27,8	33,5	445	39,2	0,457	498	25,0	28,7	1,6	19	403	900	8,2	5,5	1,1
120	28,6	35,3	402	39,4	0,456	513	25,9	30,0	1,5	18	439	952	7,9	5,1	1,0
130	29,3	37,0	367	39,6	0,455	527	26,7	32,5	1,4	17	473	1000	7,7	4,7	0,9
140	29,9	38,6	339	39,7	0,454	539	27,4	34,3	1,3	16	505	1043	7,5	4,3	0,8
150	30,4	40,1	315	39,8	0,453	550	28,1	36,0	1,2	15	535	1084	7,2	4,0	0,7

Примечание. Данные приведены выборочно (через 10 лет).

Таблица 3  
Ход роста естественных сосновых древостоев Беловежской пуш. Сосняк черничный

Возраст лет	Растущий древостой										Отпад			Ошая проиводительность, м <sup>3</sup>		Прирост по запасу	
	Высота, м	Диаметр, см	Число стволов, шт	Сумма площадей сечений, м <sup>2</sup>	Видовое число	Запас, м <sup>3</sup>	Высота, м	Диаметр, см	Сумма площадей сечений, м <sup>2</sup>	Запас, м <sup>3</sup>	Сумма промучуточного пользования, м <sup>3</sup>	Средний, м <sup>3</sup>	текущий, м <sup>3</sup>	%	Средний, м <sup>3</sup>	текущий, м <sup>3</sup>	
																	Сумма площадей сечений, м <sup>2</sup>
10	3,7	3,8	9011	10,3	0,684	26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
20	9,5	8,1	5107	26,6	0,528	138	3,1	3,6	2,2	5	5	138	6,9	11,6	10,9	-	
30	13,9	12,2	2737	32,2	0,494	221	7,7	7,5	4,1	17	36	256	8,5	11,7	5,8	-	
40	17,3	15,9	1740	34,7	0,480	288	11,7	10,9	3,8	23	78	366	9,1	10,7	3,9	-	
50	19,8	19,2	1246	36,2	0,472	338	15,0	14,2	3,3	24	126	464	9,3	9,6	2,9	-	
60	21,8	22,1	965	37,1	0,467	377	17,7	17,2	2,9	24	175	552	9,2	8,5	2,3	-	
70	23,3	24,7	787	37,7	0,464	408	19,9	20,0	2,5	23	222	630	9,0	7,6	1,9	-	
80	24,6	27,0	667	38,2	0,462	433	21,6	22,6	2,2	22	267	700	8,8	6,8	1,6	-	
90	25,6	29,0	581	38,5	0,460	454	23,1	25,0	1,9	21	309	764	8,5	6,2	1,4	-	
100	26,5	30,9	517	38,8	0,459	472	24,3	27,2	1,7	19	349	821	8,2	5,6	1,2	-	
110	27,3	32,6	468	39,0	0,457	487	25,3	29,2	1,6	18	386	873	7,9	5,1	1,1	-	
120	27,9	34,1	428	39,2	0,456	500	26,1	31,1	1,4	17	420	920	7,7	4,6	0,9	-	
130	28,5	35,5	397	39,4	0,456	511	26,9	32,9	1,3	15	452	964	7,4	4,3	0,8	-	
140	29,0	36,8	371	39,5	0,455	521	27,5	34,5	1,2	15	482	1004	7,2	3,9	0,8	-	
150	29,5	38,0	349	39,6	0,454	530	28,1	36,1	1,1	14	510	1041	6,9	3,6	0,7	-	

Примечание. Данные приведены выборочно (через 10 лет).

та-распределения, которая рекомендуется для использования в имитационном моделировании строения древостоев на ПЭВМ.

3. Разработана модель связи сумм площадей сечений со средней высотой сосновых древостоев, достоверно объясняющая 92,8% варьирования значений сумм площадей сечений с относительной ошибкой 9,7%. Расчетные значения близки к значениям по стандартным таблицам сумм площадей сечений Белорусии.

4. Созданы на основе функции Странда модели хода роста сосняков мшистых и сосняков черничных по высоте. Модели объясняют 92-97% варьирования высот с относительной ошибкой  $\pm 5-7\%$ . Оценка среднего диаметра древостоев и относительного текущего среднепериодического прироста древостоев по сумме площадей сечений выполнен по уравнениям множественной линейной регрессии с возрастом, высотой и суммой площадей сечений. Относительная ошибка моделей 10-15%. Модели объясняют более 80% варьирования таксационных показателей.

5. Исследования показали, что в условиях С.мшистого и С.черничного формируются древостои близкие по производительности. Общая производительность в 150 лет составляет: сосняков черничных - 1058 м<sup>3</sup>/га, сосняков мшистых 1104 м<sup>3</sup>/га. До 65 лет производительность сосняков черничных больше, чем сосняков мшистых, после - ниже. Возраст количественной спелости в сосняках мшистых наступает в  $\approx 64$  года, а в сосняков черничных - в  $\approx 53$  года.

6. Разработана на ПЭВМ имитационная система моделирования строения древостоев по диаметру, которая характеризуется достаточно высокой точностью оценки таксационных показателей древостоев: суммы площадей сечений - 1,5%, запаса - 4,5%, среднего диаметра - 3,4%). Создана система моделирования роста и производительности сосновых древостоев на ПЭВМ, позволяющая получить динамику таксационных показателей растущего древостоя и деревьев отпада, разрабатывать таблицы хода роста древостоев различной производительности. Точность оценки запаса растущего древостоя - 5,5%, запаса отпада - 15%.

7. Составлены таблицы хода роста и динамики строения по диаметру сосняков мшистых и сосняков черничных. Лесотаксационные таблицы, модели и программы на ПЭВМ внедрены для практического использования в лесоустроительное проектирование ПО "Белгослес" и НП "Беловежская пуша".

РАБОТЫ, ОПУБЛИКОВАННЫЕ ПО МАТЕРИАЛАМ ДИССЕРТАЦИИ

1. Демьянчик А.А., Толкач И.В. Разработка программ рубок ухода в сосновых древостоях Белоруссии // Материалы всесоюзной научно-практической конференции "Вклад молодых ученых и специалистов в интенсификацию сельскохозяйственного производства". - Алма-Ата: КазСХИ, 1989. - Ч. 2. - С. 6-7.
2. Атрощенко О.А., Демьянчик А.А., Ле Нгок Ань, Толкач И.В. Моделирование лесного фонда в связи с задачами современного лесного хозяйства // Проблемы лесоведения и лесной экологии. - М., 1990. - Ч. 2. - С. 624-626.
3. Машковский В.П., Толкач И.В. Применение вычислительной техники в процессе изучения курса лесной таксации // I-я Белорусская конференция "Новые информационные технологии обучения". - Мн.: БГУ, 1992. - С.121.
4. Толкач И.В. Моделирование строения древостоев по диаметру функцией бета-распределения // Труды Белорусского технологического института. Лесное хозяйство. - Мн.: ВТИ, 1993. - Вып. 1. - С.63-66.
5. Толкач И.В. Методика расчета таксационных показателей при составлении таблиц хода роста // Труды Белорусского государственного технологического университета. Лесное хозяйство. - Мн.: БГТУ, 1994. - Вып. 2. - С. 98-102.
6. Толкач И.В. Система моделирования роста и производительности древостоев // Тезисы докладов международной научно-практической конференции "Лес-95". - Мн.: БГТУ, 1995. - С.35-36.
7. Машковский В.П., Толкач И.В. Система кривых для аппроксимации связи высот и диаметров в разрядных таблицах // Труды Белорусского государственного технологического университета. Лесное хозяйство. - Мн.: БГТУ, 1996. - Вып. 3. - С. 71-74.
8. Толкач И.В. Ход роста естественных сосновых древостоев Беловежской пушчи мшистого и черничного типов леса // Труды Белорусского государственного технологического университета. Лесное хозяйство. - Мн.: БГТУ, 1996. - Вып. 3. - С. 86-89.
9. Толкач И.В., Морено Ф. Имитационная модель и таблицы строения естественных сосновых древостоев Беловежской пушчи по диаметру // Труды Белорусского государственного технологического университета. Выпуск 4. (в печати).

РЕЗЮМЕ

Толкач Ігар Уладзіміравіч. Будова і рост натуральных сосновых древостояў Белавежскай пушчы.

САСНА, МАДЭЛЯВАННЕ, ТАБЛІЦЫ, ВУДОВА, ДЫЯМЕТР, ХОД РОСТУ, ПРАДУКЦЫЙНАСЦЬ, ПРЫРОСТ, БЕЛАВЕЖСКАЯ ПУШЧА.

Даследаваліс сосновыя дрэвастой Белавежскай пушчы імшыстага і чарнічнага тыпаў лесу, натуральнага паходжання, не падлеглыя прамому антрапагеннаму ўздзеянню. Мэта работы - вывучэнне заканамернасцяў будовы і росту дрэвастой, пабудова мадэляў, што адлюстроўваюць гэтыя заканамернасці, распрацоўка для Белавежскай пушчы імітацыйнай сістэмы мадэлявання будовы, ходу росту і прадукцыйнасці дрэвастой. Выяўлены заканамернасці будовы і росту дрэвастой, распрацаваны мадэлі, якія адлюстроўваюць узаемасувязі паміж таксацийнымі паказчыкамі дрэвастой, распрацавана імітацыйная сістэма мадэлявання будовы, ходу росту і прадукцыйнасці дрэвастой, табліцы будовы, ходу росту і прадукцыйнасці саснякоў імшыстых і саснякоў чарнічных. Табліцы ўкаранены ў лесаўпарадкавальнае праектаванне ВА "Белдвжлес", сістэма мадэлявання будовы і ходу росту дрэвастой - у НП "Белавежская пушча".

РЕЗЮМЕ

Толкач Игорь Владимирович. Строение и рост естественных сосновых древостоев Беловежской пушчи.

СОСНА, МОДЕЛИРОВАНИЕ, ТАБЛИЦЫ, СТРОЕНИЕ, ХОД РОСТА, ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ, ПРИРОСТ, БЕЛОВЕЖСКАЯ ПУЩА.

Исследовались сосновые древостои Беловежской пушчи мшистого и черничного типов леса, естественного происхождения, не подвергнутые прямому антропогенному воздействию. Цель работы заключается в изучении закономерностей строения и роста древостоев, разработке моделей отражающих данные закономерности, создании системы моделирования строения, хода роста и производительности древостоев. Выявлены закономерности строения и роста древостоев, разработаны модели отражающие взаимосвязи между таксационными показателями древостоев, имитационная система моделирования строения, хода роста и производительности древостоев, таблицы строения, хода роста и производительности сосняков

мшистых и сосняков черничных. Таблицы внедрены в лесоустроительное проектирование ПО "Белгослес". Система моделирования строения и хода роста древостоев - в НП "Беловежская пуща".

#### SUMMARY

Tolkach Igor Vladimirovich. The Structure and Growth of the Belovezhskaya Puscha Native Pine Stands.

PINE, MODELING, TABLES, STRUKTURE, STAND GROWTH, PRODUKTIVITY, INCREMENT, BELOVEZHSKAYA PUSCHA.

Natural pine stands of mossy and bilberry types which have not been directly exposed to anthropogenic factors in Belovezhskaya Puscha are investigated. The purpose is to study regularities, to work out a system for modeling the structure, growth and productivity of stands based on those regularities. Regularities of stands structure and growth have been elucidated, models taking account of interrelation between the forest mensuration indices of the stands, as well as a simulation system of the growth and produktiviti of mossy and bilberry pine stands, developed; pine structure (by diameter) tables proposed. Tables have been adopted in forest inventory and management designing practices at Production Association "Belgosles". The Modelings System for stands structure and growth is used in the Belovezhskaya Puscha.

И. Толкач

Толкач Игорь Владимирович

СТРОЕНИЕ И РОСТ ЕСТЕСТВЕННЫХ СОСНОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ  
БЕЛОВЕЖСКОЙ ПУЩИ

Подписано в печать 27.01.97. Формат 60x84 1/16. Печать  
офсетная. Усл. печ. л. 1,3. Усл. кр.-отт. 1,3. Уч.-изд. л. 1,1.  
Тираж 70 экз. Заказ 23.

Белорусский государственный технологический университет.  
220630, Минск, Свердлова, 13а.

Отпечатано на роталпринте Белорусского государственного  
технологического университета. 220630, Минск, Свердлова, 13а.