

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра лесоустройства

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

**Методические указания
к курсовому проектированию по одноименной дисциплине
для студентов специальности 1-75 01 01 «Лесное хозяйство»
специализации 1-75 01 01 04 «Информационные системы
в лесном хозяйстве»**

Минск 2014

УДК 630:004.42(075.8)

ББК 43:32.97я

М74

Рассмотрены и рекомендованы редакционно-издательским советом
Белорусского государственного технологического университета

Составитель

О. А. Севко

Рецензенты:

кандидат физико-математических наук, доцент кафедры информаци-
онных систем и технологий БГТУ *Н. И. Гурин*;

доктор сельскохозяйственных наук,

профессор кафедры лесоводства БГТУ *С. С. Штукин*

По тематическому плану изданий учебно-методической
литературы университета на 2013 год. Поз. 11.

Предназначены для студентов специальности 1-75 01 01 «Лесное
хозяйство» специализации 1-75 01 01 04 «Информационные системы
в лесном хозяйстве».

© УО «Белорусский государственный
технологический университет», 2014

ПРЕДИСЛОВИЕ

Данное пособие по курсовому проектированию составлено для студентов специальности «Лесное хозяйство» специализации «Информационные системы в лесном хозяйстве» и может использоваться при написании курсового проекта по дисциплине «Моделирование и оптимизация лесохозяйственных процессов».

Целью разработки курсового проекта «Моделирование оптимальной производительности сосновых древостоев ... класса бонитета» является приобретение студентами навыков статистического и регрессионного анализа различной информации лесохозяйственного профиля и практического использования материалов лекционного курса и учебников, нормативно-справочной литературы при решении задач, связанных с теорией и практикой моделирования и оптимизации лесохозяйственных процессов.

Основной целью моделирования лесохозяйственных процессов является создание такой модели (программы), которая наиболее полно смогла бы описать процессы изменения лесных систем в целом или отдельных ее структурных частей.

Каждый конкретный случай ставит соответствующую задачу: создание моделей роста и производительности древостоев, моделей строения древостоя по таксационным показателям, моделей пространственного распределения стволов, моделей изменения отдельных таксационных показателей со временем, моделей взаимосвязей таксационных показателей между собой и со внешними природными и антропогенными факторами, моделей формирования древостоев, моделей рубок леса и сортиментной структуры вырубаемой древесины, модели экономической эффективности.

При выполнении курсового проектирования по дисциплине «Моделирование и оптимизация лесохозяйственных процессов» студент использует экспериментальные материалы, теоретические знания, новейшие методы и технологии для решения основных задач моделирования таких лесохозяйственных процессов, как рост насаждений и влияние на них проводимых хозяйственных мероприятий.

Развитие новых методов и технологий в лесном хозяйстве и лесоустройстве, внедрение научных разработок в производство предопределило совершенствование технологии разработки курсового проекта, использование компьютерных прикладных программ и возможность использования ГИС-технологий при сборе материалов для проектирования.

Курсовое проектирование основывается на законодательных и нормативных документах по лесному фонду, лесоустройству, использованию и ведению лесного хозяйства, теоретических основах, технических требованиях и нормативах для улучшения имеющихся и формирования высокопродуктивных насаждений, отражает новейшие достижения науки и практики, соответствует задачам лесного хозяйства и лесоустройства.

Студенту в задании предоставляется экспериментальный материал, собранный на временных пробных площадях, заложенных в чистых сосновых древостоях определенного класса бонитета и типа леса, но различного возраста, и ставится задача разработать и обосновать комплекс мероприятий (рубок ухода) по повышению продуктивности на основе компьютерного моделирования.

Проектирование проводится с использованием методов математической вариационной статистики и многофакторного регрессионного анализа. В соответствии с принятыми в лесной науке требованиями по точности и репрезентативности эксперимента разрабатываются регрессионные уравнения связи таксационных показателей; на их основании строятся таблицы хода роста модальных древостоев, с использованием которых проводится моделирование различных вариантов программ формирования древостоев при различных режимах лесовыращивания.

Проект оформляется строго в соответствии со стандартом [13], в котором определяется общий объем работы (не более 50 страниц машинописного текста, без учета рисунков, таблиц, приложений) и перечень структурных элементов пояснительной записки (титульный лист, задание на проектирование, реферат, содержание, введение, разделы, список использованных источников, приложения). Количество разделов, их объем, число таблиц и приложений вытекает из текста данного пособия и может уточняться преподавателем при выдаче задания на курсовое проектирование и во время консультаций по нему.

Текстовую информацию проекта для лучшего восприятия желательно дополнить таблицами и графиками. Все таблицы и рисунки должны быть проанализированы. При составлении проекта следует избегать повторений слов и терминов. Изложение материала ведется в безличной форме: «предлагается», «рассчитываются» и т. д.

Текст пояснительной записки к проекту начинается с введения, в котором описывается возможность использования моделирования для решения конкретных задач, поставленных в лесном хозяйстве.

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1. Цель исследования

Определяются цели исследований, проводимых в лесном хозяйстве, их актуальность и значимость для науки и производства. Указывается важность моделирования хода роста древостоев для решения конкретных лесохозяйственных задач, необходимость моделирования оптимальной производительности древостоев для решения задач лесного хозяйства и народного хозяйства в целом. Студентами формулируется цель дальнейшего исследования в соответствии с их вариантом лесовыращивания.

1.2. Задачи исследования

Разрабатывается алгоритм действий для достижения поставленной цели. Формулируется список задач, решение которых позволит получить необходимый результат:

- указывается необходимость статистической обработки экспериментального материала, методы и критерии его оценки;
- значимость регрессионного анализа и построения уравнений связи таксационных показателей для дальнейшего моделирования хода роста древостоев;
- формулируется алгоритм построения таблиц хода роста насаждений;
- определяется важность дальнейшего эксперимента с помощью компьютерной техники для определения оптимальной программы формирования древостоев;
- определяются критерии для выбора оптимальной модели формирования древостоев режимами рубок ухода.

1.3. Основные направления моделирования в лесном хозяйстве

В данном пункте студентами описываются основные направления использования компьютерного моделирования для целей лесного хозяйства и лесоустройств. В информационной системе управления лесным хозяйством огромное значение имеют модели, описывающие

лесохозяйственные процессы. Моделирование при этом ведется в следующих направлениях:

- модели, описывающие изменение отдельных таксационных показателей;
- характеризующие ход роста отдельного дерева, без учета внешних влияний;
- ход роста отдельного дерева, с учетом внешних факторов;
- строение древостоя по определенным таксационным показателям;
- характеризующие ход роста и производительность древостоя в целом.

Фундаментальное значение моделей производительности древостоев заключается в том, что они, отражая закономерности и законы роста и производительности древостоев, совместно с принципами целевого леса, многоцелевого лесопользования и расширенного воспроизводства лесных ресурсов составляют теоретические основы лесного хозяйства.

Разработка моделей является главной целью учения о производительности древостоев. Посредством моделей осуществляется конкретизация принципов целевого леса. От закономерностей производительности древостоев зависит выбор форм лесного хозяйства, древесных пород, способов рубок ухода и их интенсивности, возраста спелости и рубок. На основе закономерностей строятся многие нормативы лесного хозяйства, без знания которых невозможна реальная кадастровая оценка лесных ресурсов: от закономерностей роста и производительности древостоев зависит выбор рациональных способов организации и ведения лесного хозяйства.

Студентами на основании литературных источников перечисляются наиболее значимые работы и их авторы, работающие в направлении моделирования лесохозяйственных процессов в нашей стране и за рубежом. Следует указать, какие разрабатываются новые типы моделей хода роста, отражающие последствия изменений окружающей среды и динамику всех продуктов и полезностей леса.

Сопоставив все исследования по моделированию производительности древостоев, следует:

- выявить ряд основных факторов, влияющих на производительность (биологическая особенность древесной породы; генетические свойства отдельных деревьев; хозяйственный режим, а также санитарное состояние древостоя);
- указать на вероятностный характер, так как нельзя учесть последствий хозяйственной деятельности на окружающей территории, периоди-

ческого изменения климата и несовпадения календарных дат, генетических особенностей данного сочетания дедропопуляций и других причин;

– объяснить значимость правильной оценки факторов, влияющих на рост насаждений (тип леса, класс бонитета и др.).

На основании обзора существующих методов моделирования делаются выводы.

1. Изучение хода роста насаждений следует проводить по составляющим породам как биологическим совокупностям деревьев, подчиненным определенным закономерностям.

2. Наличие взаимосвязи между таксационными показателями, условиями местопроизрастания и возрастом насаждений показывает, что в любой отрезок времени исходное состояние древостоя во многом определяет его последующий ход роста.

3. Весь комплекс факторов, влияющих на рост модальных насаждений, традиционным методом подбора древостоев одного естественного ряда учесть практически невозможно, так как потребуются составлять огромное количество таблиц, при этом таблицы не будут отражать в полной мере рост конкретных древостоев. В этом случае ход роста насаждений можно наиболее точно отразить математической моделью, учитывающей все возможные состояния древостоев и факторы, влияющие на их рост.

1.4. Современные направления моделирования роста и производительности древостоев

На основании лекционного материала и проработанных первоисточников студентами описываются современные направления и связанные с ними технологии моделирования роста и производительности древостоев. Следует отметить, что современное моделирование роста насаждений проводится с помощью новейшей вычислительной техники. За редким исключением, все модели имеют одну общую цель: производить в некоторой точке или точках времени суммарные таблицы, которые показывают состояние лесного насаждения на пробе или гектаре. Такие признаки, как запас, площадь сечения и число деревьев на единице площади, имеются во всех моделях.

Модели роста и производительности насаждений требуются для различных аспектов контроля и управления лесами: таксации насаждений, оценке вариантов ухода за лесом, прогнозирования продуктивности древостоев, оценке производительности условий произрастания.

Главное же назначение математических моделей роста насаждений – обеспечить данными для анализа и проверки многочисленных гипотез относительно различных вариантов ведения лесного хозяйства (лесопользования, лесовосстановления, рубок ухода, лесомелиорации и т. д.). Совместно с моделями оптимизации лесохозяйственных мероприятий модели роста насаждений дают ключевую информацию для принятия правильных решений в управлении лесами.

Необходимо указать, что сравнение моделей насаждений позволяет выявить три принципа моделирования.

Первый принцип предполагает, что основной единицей моделирования насаждения является отдельное дерево и необходимы данные таксации частей древесного ствола. Такой принцип указывает, что каждое дерево располагается в модели в пространственной системе координат, и основывается на положении, что конкуренция между деревьями пропорциональна количеству деревьев на единицу площади (круг конкуренции).

Круг конкуренции обычно определяется как некоторая функция диаметра на 1,3 м. Фактическое количество перекрытия (т. е. конкуренции) выражается различными авторами в единицах площади, окружности или углов. Модели данного типа дают весьма детальную информацию о строении древостоя, и главное их назначение – проверить влияние различных лесохозяйственных программ, таких как схем посадки, рубок ухода и удобрений на рост леса [19, 23, 26].

Применение имитационных моделей увеличит надежность принимаемых решений в отношении рубок ухода, так как по ним можно выполнить прогноз текущего прироста и продуктивности древостоев, а в конечном итоге – оценить эффективность рубок ухода.

Второй принцип предполагает, что основная единица моделирования – отдельное дерево, но междеревесное расстояние как параметр не требуется. Моделирование (имитация) не требует данных таксации частей древесного ствола. В этих моделях широко используются функции распределения деревьев по диаметру, высоте и другим признакам [20–22, 27, 28].

Моделирование режимов рубок ухода выполняется имитацией строения древостоев по диаметру с прогнозированием прироста по площади сечения, вырубаемой части по числу деревьев и площади сечения. Техника изучения и моделирования прироста и отпада древостоя отличаются от простых регрессионных моделей, где периодический текущий прирост по диаметру является функцией фактора конкуренции, условий местопроизрастания и объема дерева, до сложных

стохастических моделей. Наиболее широкое распространение эти модели получили в скандинавских странах.

Третий принцип предполагает, что основная единица моделирования насаждения – древостой и информация об индивидуальных деревьях не нужна. Модели данного типа широко используются в различных странах в виде таблиц хода роста. Современные компьютерные технологии позволяют разработать сложные регрессионные модели. К сожалению, ценность таких регрессионных моделей в условиях пассивного эксперимента невелика, поэтому в данном случае работа ведется по созданию имитационных моделей роста леса, использующих регрессионные модели связи таксационных признаков древостоев.

Модели (таблицы) хода роста и производительности насаждений получили широкое распространение в нашей стране. Н. Н. Свалов [14] выполнил детальный обзор и анализ методов составления таблиц хода роста, разработал новый метод составления таблиц хода роста, содержание которого составляют: случайный отбор исходных данных, классификация насаждений по верхней высоте и производительности древостоев, моделирование уравнений полноты и производительности древостоев.

Большое преимущество регрессионных моделей – в возможности использовать массовую лесоустроительную информацию, получаемую в процессе инвентаризации лесов, в их простоте и меньшем объеме вычислений.

2. СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО МАТЕРИАЛА

2.1. Подготовка экспериментального материала

Материалами для работы над главой проекта служат экспериментальные данные, собранные на временных пробных площадях, заложенных в чистых сосновых древостоях различных типов леса и классов бонитета (прил. 1). Материалы для обработки подбираются студентами в соответствии с выданным преподавателем вариантом (каждый блок состоит из таксационных характеристик 131 пробной площади). В соответствии с предпосылками статистического анализа определяется необходимое количество наблюдений по формуле:

$$n = \frac{V^2 \cdot t^2}{p^2}, \quad (2.1)$$

где V – коэффициент вариации для лесных исследований, % (в случае эксперимента в сложной лесной экосистеме $V = 30\%$); t – критерий Стьюдента (принимается средний уровень $t = 2$); p – точность наблюдений, % (для расчетов в учебных целях достаточно $p = 5,5\%$).

Подставив значения в формулу 2.1, получим:

$$n = \frac{30^2 \cdot 2^2}{5,5^2} = 119.$$

Полученное количество указывает на достаточное число наблюдений при заданном уровне точности эксперимента. При необходимости можно исключить данные пробных площадей, значительно отличающихся по таксационным характеристикам от основного множества. На основании отобранной информации в *Microsoft Excel* создается таблица таксационных показателей древостоев, на основании которой в *Microsoft Word* формируется табл. 2.1.

Таблица 2.1

Таксационные показатели древостоев

Тип леса	Возраст, лет	Диаметр, см	Высота, м	Число стволов, шт.	Сумма площадей сечений, м ²	Запас, м ³	Полнота	Бонитет

Оформление данной таблицы, как и последующих, проводится в соответствии с требованиями ГОСТ на курсовые проекты [13] и в соответствии с правилами по сокращению и написанию лесотаксационных показателей: возраст, число стволов и запас округляются до целых, диаметр, высота, сумма площадей сечений – до десятых. После таблицы дается краткий анализ представленной информации: указываются преобладающий тип леса, бонитет, возраст древостоев.

2.2. Статистическая обработка экспериментального материала

Статистическая обработка экспериментального материала осуществляется с помощью пакетов программ *Statistica 6.0, 8.0* или *10.0*. С помощью данного программного продукта определяются статистические показатели совокупности данных: среднее значение, медиана, стандартная ошибка, сумма значений, минимальное значение, максимальное значение, значения на 25- и 75-процентных уровнях точности.

Для этого после загрузки программного продукта в опции меню *Файл / Создать Новый Документ* указываются параметры будущей таблицы данных: число переменных – 9, число наблюдений – 131, формат отображения – общий (рис. 2.1). В появившемся окне (рис. 2.2) вводятся данные из табл. 2.1.

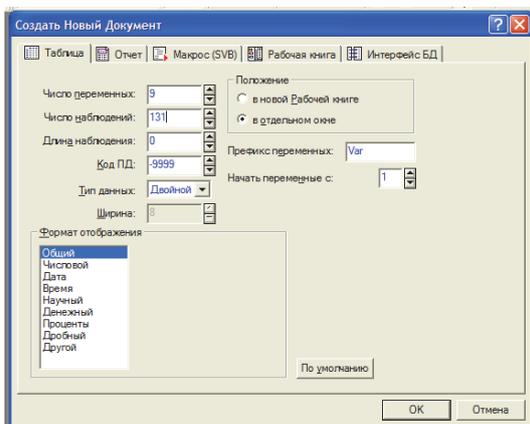


Рис. 2.1 Окно формирования таблицы

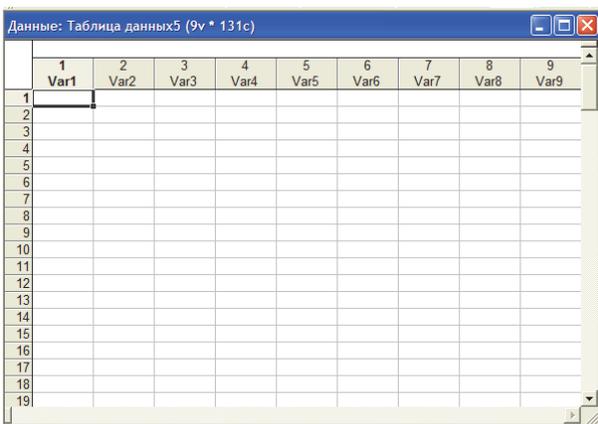


Рис. 2.2. Окно таблицы данных

В подготовленную таблицу в *Excel* импортируются данные. В опции меню *Файл / Открыть* в соответствующем каталоге указывается тип файла «*.xls» и выбирается файл данных (рис. 2.3). После запроса программы указывается функция *Импортировать выбранный лист*

в таблицу данных. В появившемся окне прописываются параметры таблицы: столбцы – с 1-го по 9-й – и строки – со 2-й по 132-ю (рис. 2.4). После нажатия кнопки *OK* формируется таблица данных в форматах, воспринимаемых программой *Statistica* (рис. 2.5).

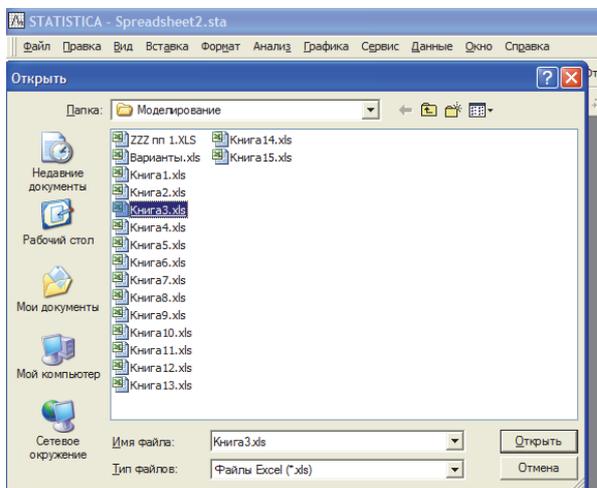


Рис. 2.3. Окно импорта таблицы Excel

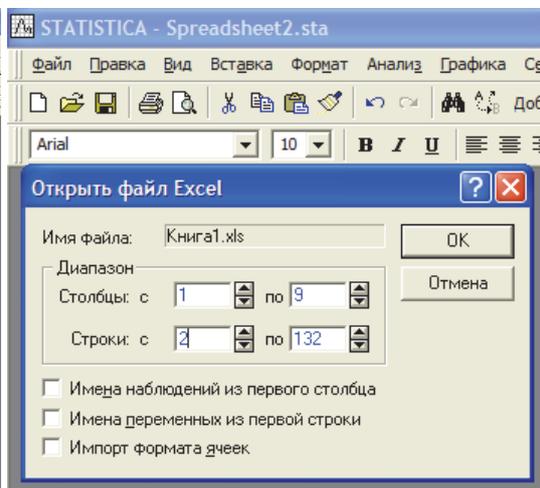


Рис. 2.4. Окно параметров импортируемой таблицы

При дальнейшей работе с сохраненными данными в опции меню *Файл / Открыть* выбирается путь и находится документ с данными сохраненной табл. 2.1 (рис. 2.6), после загрузки в окне появляется таблица таксационных показателей (рис. 2.5).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Var1	Var2	Var3	Var4	Var5	Var6	Var7	Var8	Var9
1	С.мшист.	10	6,2	6,2	5667	16,7	63	0,9	1a
2	С.мшист.	14	6	5,4	4542	12,7	25	0,8	
3	С.черн.	15	6,2	7,1	7366	22,1	93	1	
4	С.вереск.	15	4,4	5,2	9871	15	53	1	
5	С.вереск.	15	5,6	5,5	5647	13,9	51	0,86	
6	С.мшист.	20	8,9	10,5	3956	24,6	139	0,86	1a
7	С.мшист.	20	7	8,7	5263	20	99	0,77	
8	С.мшист.	20	8,9	10,3	3969	24,6	139	0,93	
9	С.мшист.	20	7	8,7	5083	19,6	99	0,82	
10	С.мшист.	20	7,2	7	4470	18,2	76	0,86	
11	С.черн.	30	9,9	11	1900	14,5	89	0,8	
12	С.мшист.	30	10,4	9,6	2413	20,5	132	0,77	
13	С.мшист.	30	13,4	13,8	1872	26,4	189	0,87	
14	С.мшист.	30	13,6	13,8	1824	26,4	189	0,95	
15	С.мшист.	30	12,5	13	2588	31,7	227	1	

Рис. 2.5. Окно таблицы таксационных показателей древостоев

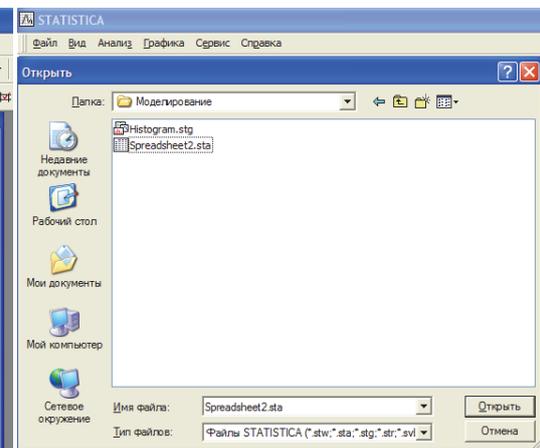


Рис. 2.6. Окно загрузки сохраненной таблицы

Для проведения статистического анализа экспериментального материала следует выделить весь блок информации (кроме данных по

типу леса) и, щелкнув правой клавишей мыши, выбрать в появившихся окнах опции *Блочные статистики / По столбцам / Все* (рис. 2.7).

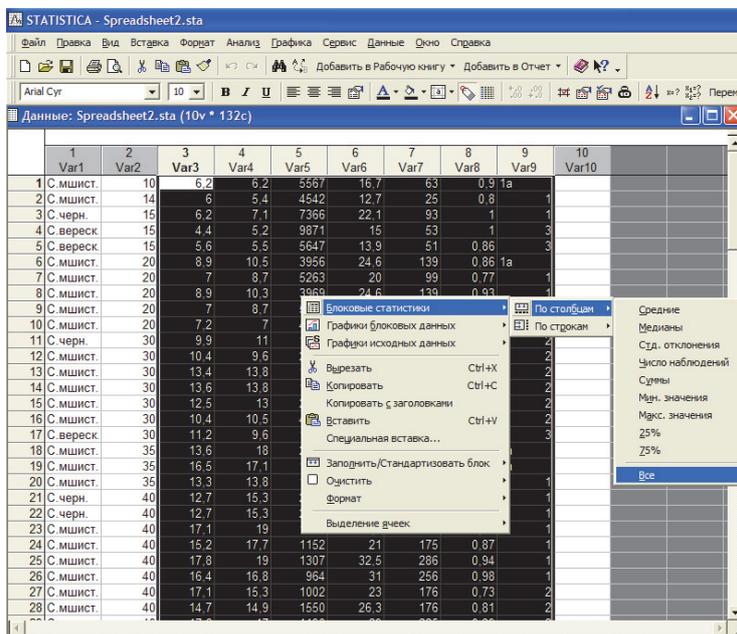


Рис. 2.7. Выбор опций предварительного статистического анализа

В результате под блоком данных формируются строки суммарной статистики (рис. 2.8).

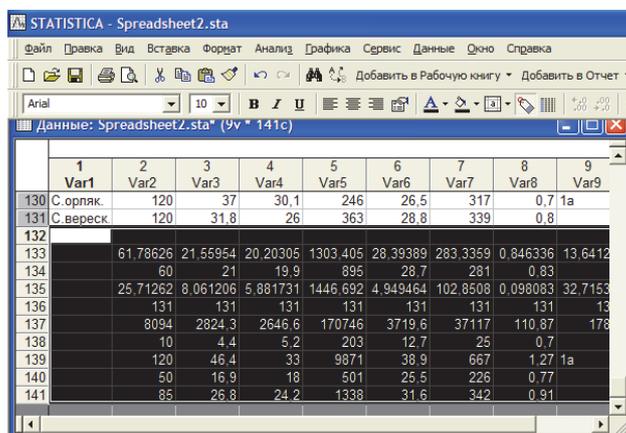


Рис. 2.8. Результаты предварительного статистического анализа

Детальная оценка экспериментальных данных проводится с помощью опции меню *Анализ / Основные статистики и таблицы*, где выбирается функция *Описательные статистики* (рис. 2.9). В появившемся

окне выбирается закладка *Дополнительно*, в которой указываются необходимые рассчитываемые статистические показатели: число наблюдений, среднее, мода, медиана, геометрическое среднее, стандартное отклонение, дисперсия, стандартная ошибка, асимметрия, эксцесс, максимальное и минимальное значение.

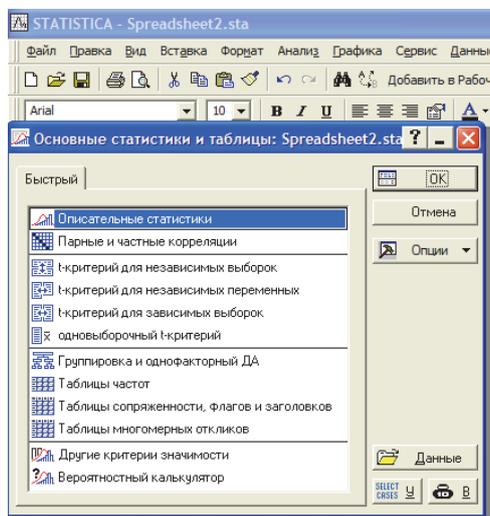


Рис. 2.9. Вид окна «Основные статистики и таблицы»

Среднеквадратическое отклонение σ показывает степень варьирования таксационных показателей древостоев. Оно находится по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (t_i - t_{cp})^2}{n - 1}}, \quad (2.1)$$

где t_i – таксационный показатель i -го древостоя; t_{cp} – среднеарифметический таксационный показатель, n – число пробных площадей, шт.

Коэффициент вариации V показывает варьирование таксационных характеристик в относительных величинах. Он применяется для сопоставления степени варьирования показателей в двух или более древостоях и вычисляется по формуле:

$$V = \frac{\sigma}{t_{cp}} \cdot 100, \quad (2.2)$$

где t_{cp} – среднеарифметический таксационный показатель.

Точность оценки средней величины P находится по формуле:

$$P = \frac{m}{t_{cp}} \cdot 100, \quad (2.3)$$

где m – стандартная ошибка среднеарифметической величины, определяемая по соотношению:

$$m = \pm \frac{\sigma}{\sqrt{n}}. \quad (2.4)$$

As – коэффициент асимметрии опытного ряда распределения таксационных показателей по отношению к симметричной кривой нормального распределения, он находится по формуле:

$$As = \frac{\sum (t_i - t_{cp})^3}{n\sigma^3}, \quad (2.5)$$

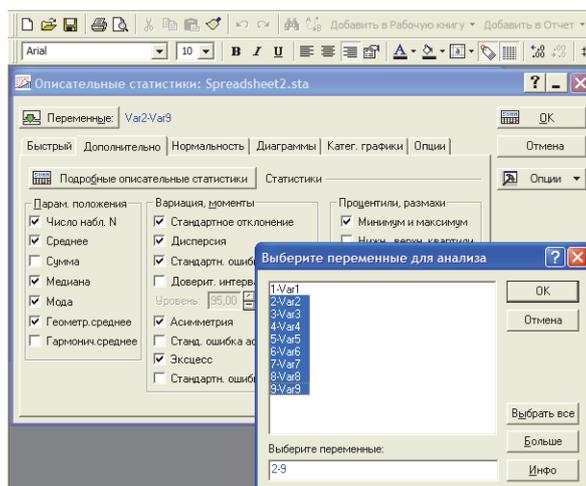
где t_i – таксационный показатель i -го древостоя; t_{cp} – среднее значение данного показателя; n – число учетных пробных площадей, шт.; σ – среднеквадратическое отклонение распределения.

Эксцесс Es – показывает отклонение крутизны опытного ряда распределения таксационных показателей от кривой нормального распределения и находится по формуле:

$$Es = \frac{\sum (t_i - t_{cp})^4}{n\sigma^4}. \quad (2.6)$$

Для вычисления всех вышеуказанных статистических характеристик рядов распределения по всем оцениваемым в курсовом проекте таксационным показателям при активизации вкладки *Переменные* отмечаются оцениваемые таксационные показатели (рис. 2.10).

В результате расчетов формируется таблица описательных статистик таксационных показателей древостоев (рис. 2.11)



2.10. Вид окна выбора параметров таблицы «Описательные статистики»

Перем	N набл.	Среднее	Геометр. Среднее	Медиана	Мода	Частота моды	Минимум	Максимум	Дисперс.	Стд. откл.	Станд. Ошибка	Асимметрия	Эксцесс
Var2	131	61,786	55,6606	60,0000	50,00000	30	10,0000	120,000	661	25,713	2,2465	0,255532	-0,51815
Var3	131	21,560	19,8192	21,0000	Множест.	3	4,4000	46,400	65	8,061	0,7043	0,201974	0,02804
Var4	131	20,203	19,0973	19,9000	Множест.	4	5,2000	33,000	35	5,882	0,5139	-0,509149	0,19857
Var5	131	1303,405	920,1523	895,0000	Множест.	2	203,0000	9871,000	2092919	1446,692	126,3981	3,169580	12,18064
Var6	131	28,394	27,9020	28,7000	31,20000	4	12,7000	38,900	24	4,949	0,4324	-0,644020	0,99238
Var7	131	283,336	259,3374	281,0000	265,0000	4	25,0000	667,000	10578	102,851	8,9861	0,233925	1,38150
Var8	131	0,846	0,8409	0,8300	1,000000	15	0,7000	1,270	0	0,098	0,0086	0,744638	1,22829
Var9	131	13,641	2,3220	1,0000	1,000000	67	1,0000	101,000	1070	32,715	2,8584	2,333285	3,50046

Рис. 2.11. Вид окна таблицы «Описательные статистики»

На основании полученных в результате статистического анализа данных в курсовой работе формируется табл. 2.2.

Таблица 2.2

Статистические характеристики экспериментальных данных

Статистики	Экспериментальные данные							
	Возраст, лет	Диаметр, см	Высота, м	Число стволов, шт.	Сумма площадей сечений, м ²	Запас, м ³	Полнота	Бонитет
Среднее								
Геометрическое среднее								
Медиана								
Мода								
Минимум								
Максимум								
Дисперсия								
Стандартное отклонение								
Стандартная ошибка								
Асимметрия								
Эксцесс								

Студентами в обязательном порядке проводится анализ полученных результатов и их оценка: высчитанные показатели сравниваются с основными предпосылками статистического анализа, объясняются возможные отклонения. При значительных отклонениях и ошибках из исходных данных исключаются таксационные характеристики соответствующих пробных площадей.

Для визуального отображения анализируемого материала строятся гистограммы распределения числа пробных площадей по среднему диаметру, средней высоте, сумме площадей сечений и запасу. Для этого в опции головного меню *Графика* выбирается функция *Гистограммы...* (рис. 2.12).

В следующем окне выбирается *Простой тип графика*, и далее формируется подбор рядов распределения, для которых необходимо графическое отображение. Курсором указываются номера вариантов, соответствующих диаметру, высоте, сумме площадей сечений и запасу древостоев на пробных площадях (рис. 2.13). После активации функции в соответствующих окнах поочередно строятся соответствующие графики распределения численностей пробных площадей по таксационным показателям.

The screenshot shows the STATISTICA software interface. The 'Графика' menu is open, displaying various chart options. Below the menu, a spreadsheet is visible with the following data:

	1 Var1	2 Var2	3 Var3	4 Var4
1	С.мшист.	10	6,2	
2	С.мшист.	14	6	
3	С.черн.	15	6,2	
4	С.вереск.	15	4,4	
5	С.вереск.	15	5,6	
6	С.мшист.	20	8,9	
7	С.мшист.	20	7	
8	С.мшист.	20	8,9	
9	С.мшист.	20	7	
10	С.мшист.	20	7,2	
11	С.черн.	30	9,9	
12	С.мшист.	30	10,4	9,6 2413 20,5 132
13	С.мшист.	30	13,4	13,8 1872 26,4 189
14	С.мшист.	30	13,6	13,8 1824 26,4 189
15	С.мшист.	30	12,5	13 2588 31,7 227
16	С.мшист.	30	10,4	10,5 4179 35,5 220
17	С.вереск.	30	11,2	9,6 1950 21,7 132
18	С.мшист.	35	13,6	18 2032 29,5 226

Рис. 2.12. Окно выбора графики

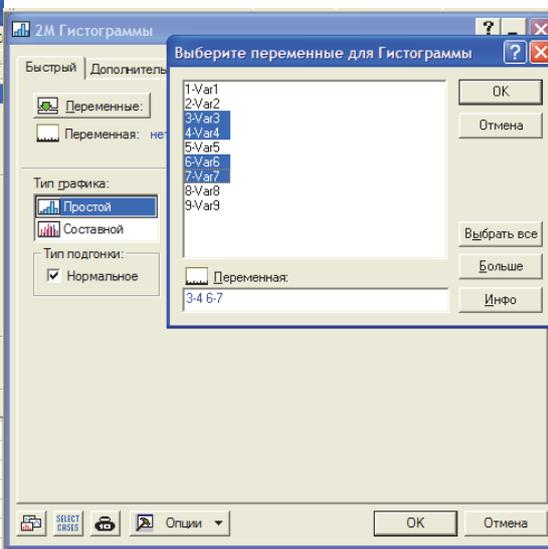


Рис. 2.13. Окно формирования гистограмм

Построенные таким образом гистограммы (рис. 2.14) копируются в *Word* и оформляются в курсовой работе как рисунки гистограмм распределения числа пробных площадей по основным таксационным показателям.

Каждый рисунок должен быть снабжен ссылкой по тексту главы и проанализирован: дана оценка асимметрии и эксцесса, равномерности распределения количества пробных площадей по таксационному показателю, соответствию полученного графика кривой нормального распределения. В работе следует указать возможное лесоводственное объяснение имеющихся рядов распределения и дать им оценку.

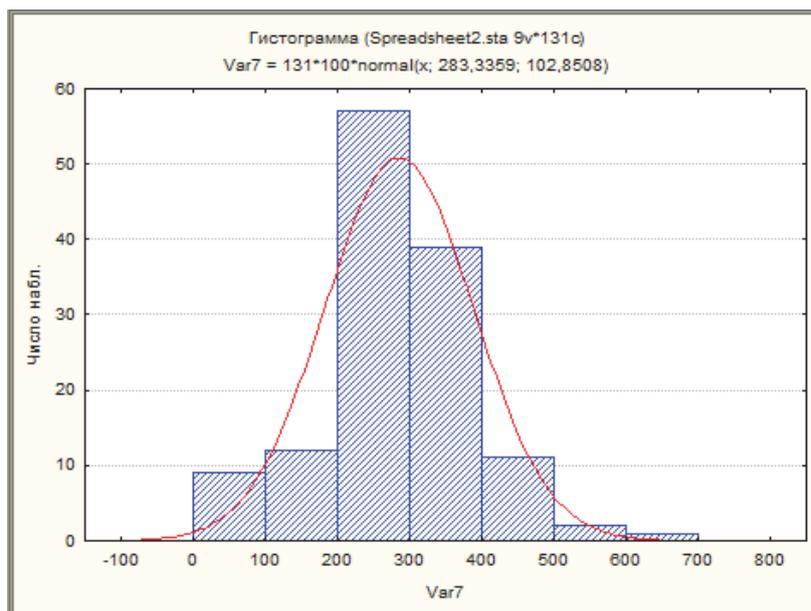


Рис. 2.14. Гистограмма распределения

После построения гистограмм и оценки полученных экспериментальных данных показатели сумм площадей сечений и запасов древостоев приводятся к полноте 1,0 ($G_{1,0}$, $M_{1,0}$), что позволит в дальнейшем сопоставлять результаты данного исследования с нормативными материалами и имеющимися в литературе таблицами хода роста сосновых древостоев различных авторов. Для этого существующие данные делят на относительную полноту древостоев:

$$G_{1,0} = \frac{G}{P}; \quad (2.7)$$

$$M_{1,0} = \frac{M}{P}, \quad (2.8)$$

где G – экспериментальная сумма площадей сечений древостоев на пробных площадях, m^2 ; M – экспериментальный запас древостоев, m^3 ; P – относительная полнота древостоев.

Для показателей, вычисленных при полноте 1,0, проводится дополнительный статистический анализ и строятся гистограммы распределения числа пробных площадей по сумме площадей сечений и запасу при полноте 1,0. По тексту работы дается оценка результатов.

В заключение главы должно быть краткое резюме, включающее выводы о достаточности экспериментального материала, результатах статистического анализа, графическом представлении данных, возможности дальнейшего эксперимента и моделирования процесса хода роста.

3. МОДЕЛИРОВАНИЕ ХОДА РОСТА СОСНОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ

3.1. Основные методы моделирования хода роста древостоев

Модели роста и производительности насаждений требуются для различных целей в лесном хозяйстве, таких как таксация насаждений, оценка вариантов рубок ухода, прогнозирование продуктивности древостоев, оценка производительности условий произрастания и многих других.

Главным назначением математических моделей является обеспечение специалистов данными для анализа и проверки ведения лесного хозяйства, а также обеспечение возможности проверки различных гипотез и вариантов его ведения. Практически все модели имеют одну общую цель – предоставить данные о состоянии насаждения в некоторый определенный момент времени.

В 1974 году D. D. Munro [24] сформулировал три основных принципа моделирования роста насаждения:

1) основной единицей модели является отдельное дерево (для разработки таких моделей необходимы данные таксации частей древесного ствола, измерения кроны, коры, оценка биологической конкуренции деревьев, а также их пространственное размещение);

2) основной единицей модели являются отдельные деревья, без учета их пространственного размещения;

3) основная единица – древостой (модели строятся для совокупности насаждений по их средним показателям).

Модели первого типа создаются на основании следующей информации об отдельном дереве: индекс условия местопроизрастания; фактор конкуренции деревьев; диаметр и протяженность кроны; расстояние между деревьями; анализ хода роста древесного ствола; текущий прирост по диаметру и высоте по 5-летним периодам; положение дерева в системе координат.

В этом направлении работали R. M. Newnham [26], F. Li [23], A. Mitscherlich [25], J. D. Arney [16]. Каждая модель основывается на аксиоме, что размер конкуренции, которой подвергается дерево, пропорционален той части круга, которая перекрывается кронами соседних деревьев. Круг конкуренции определяется как функция от диаметра на высоте 1,3 м или от диаметра кроны.

Практически во всех работах используются такие понятия, как SI (Size index) – индекс условий местопроизрастания и GSI – индекс пространственного распределения.

Модели *первого типа* дают детальную информацию о строении древостоя, но главная их цель заключается в определении влияния рубок ухода на древостой, а также в определении оптимальной схемы посадки. В формировании и использовании данных моделей существуют сложности, которые заключаются в трудоемком сборе информации по пространственной структуре и измерениях.

Модели *второго типа* разрабатываются с использованием зависимости относительного прироста по диаметру, высоте, объему и таксационных показателей от факторов окружающей среды, густоты древостоев. Эти модели могут использоваться для проектирования рубок ухода. Но у этих моделей есть недостаток, который не дает надежности в прогнозировании прироста. Моделирование различных режимов рубок в данном случае выполняется на основании строения древостоя по диаметру с прогнозированием прироста по сумме площадей сечений, а также функциональном определении вырубаемой части древостоя.

Наибольшее распространение такие модели получили в странах Скандинавии. В основном авторами предлагается система уравнений, составляющих алгебраическую модель хода роста древостоя, где отдельно рассчитывается запас древостоя и по уравнениям находят прирост. Запас в данном случае рассматривается на данный момент, а сумма приростов формирует общую производительность.

В данном направлении работали Y. Vuokila [28], P. Kilkki, U. Vaisanen [22]. Они при моделировании роста и производительности насаждений использовали функции относительного прироста. В качестве независимых переменных использовались показатели среднего дерева, общие показатели древостоя, густота. Рубки ухода проектировались согласно программам, в которых отбираемая часть определяется по графикам распределения древостоев по диаметру, а сами графики строятся с помощью β -функций.

Модели *третьего типа* широко распространены в виде таблиц хода роста (ТХР). При их создании применяются регрессионные уравнения связи таксационных показателей древостоев. Большим преимуществом таких моделей является возможность использования массовой лесоустроительной информации, которую получают во время проведения лесоустройства. Данные модели достаточно просты и требуют относительно небольших объемов вычислений.

Стоит заметить, что рассмотренные модели различаются между собой, однако в последнее время различные типы моделей начинают дополнять друг друга. Развитие биофизических теорий роста леса привело к возможности прогнозирования динамики биологических систем. Все это приводит к пересечению и объединению различных методов моделирования, где основными условиями по-прежнему являются надежность и точность экспериментальных данных.

При этом ход роста насаждений может быть исследован различными методами, от которых зависят, соответственно, и методы составления таблиц хода роста насаждений. Самым надежным способом получения опытного материала для их составления является *организация стационарных наблюдений* за динамикой роста и развития насаждений начиная с самого момента их возникновения. Метод обеспечивает получение надежных результатов, но проведение многократных наблюдений требует десятилетий.

Ход роста насаждений может быть исследован с применением *статистического метода полосок*, предложенного немецким лесоводом Бауэром. Однако данный метод построения таблиц хода роста насаждений имеет ряд недостатков: очень трудно проводить крайние кривые из-за недостаточности крайних точек; отсутствует контроль, устанавливающий принадлежность к одному естественному ряду развития. Этот метод получил дальнейшее развитие в США, где решающее значение придают кривой-гиду, характеризующей ход роста среднего класса бонитета.

В нашей стране *статистический метод* получил конструктивное развитие в исследованиях Н. Н. Свалова [14]. Согласно его методике, для составления таблиц используются массовые материалы, накопленные лесоустройством и научными учреждениями.

При исследовании хода роста древостоев чаще всего используют *аналитический метод*, или *метод указательных насаждений*, а также *типологический метод* исследования хода роста насаждений. При этом методе сначала устанавливают наиболее распространенные типы леса для изучаемого района. Обычно их выделяют по общности почвенно-грунтовых условий и напочвенного покрова.

Для каждого из выделенных типов закладывают несколько пробных площадей, характеризующих насаждения разных возрастов. Правильно отобранные площади являются эталоном для насаждений разных возрастов, относящихся к одному естественному ряду роста.

Сопоставляя три основных метода исследования хода роста насаждений, можно сделать вывод, что первый из них позволяет получить

более точные результаты, но неприемлем из-за длительного периода, требуемого для полного исследования. Преимущество второго и третьего способов в том, что при пользовании ими требуются однократные обмеры насаждений, выполняемые в течение одного летнего сезона. Однако преимущество это является одновременно и недостатком, так как однократный обмер не всегда гарантирует выбор насаждений, принадлежащих к одному естественному ряду роста и развития.

В лесной таксации разработан также *комбинированный метод* исследования хода роста насаждений, основанный на многократных обмерах древостоев, которые ведутся сразу в нескольких насаждениях разного возраста. Если при этом выбраны действительно насаждения, принадлежащие к одному классу бонитета, одному типу леса и одному ряду роста, то в результате получают данные, характеризующие динамику развития насаждения этой категории за определенный период их роста.

Положительной стороной комбинированного метода является то, что в результате многократных обмеров одних и тех же насаждений вскрываются ошибки, допущенные при их выборе. Поэтому можно быть уверенным, что окончательно отобранный и используемый для составления таблиц хода роста насаждений материал отобразит их динамику роста, как однородных по всем показателям.

Результатом всех представленных методов исследования древостоев являются построенные таблицы хода роста и производительности древостоев. Обзор последних достижений по изучению хода роста насаждений дает основание полагать:

- 1) основными видами таблиц являются таблицы хода роста оптимальных и разнополнотных насаждений;
- 2) таблицы должны учитывать происхождение и степень изреживания древостоев;
- 3) они должны быть местными с учетом типов кривых изменения таксационных показателей;
- 4) таблицы необходимо составлять с использованием математических методов и компьютерных технологий.

Разработанные модели роста и производительности насаждений требуются для различных аспектов контроля и управления лесами: таксации насаждений, при оценке вариантов ухода за лесом, для прогнозирования продуктивности древостоев, при оценке производительности условий произрастания.

Совместно с моделями оптимизации лесохозяйственных мероприятий модели роста насаждений дают ключевую информацию принятия правильных решений при управлении лесами.

3.2. Регрессионный анализ экспериментальных данных

В моделировании хода роста насаждений и разработке имитационных моделей строения и производительности древостоев широко используются множественные регрессионные модели.

Математическое описание функций системы (биогеоценоза, насаждения и т. д.) в целом и функций связи отдельных элементов системы можно выполнить в виде обобщенного дискретного полинома

$$y = b_0 + \sum b_n x_n + \sum \sum b_{n_1 n_2} x_{n_1} x_{n_2} + \dots + \sum b_{n_1} x_{n_1}^m.$$

В уравнении второй степени можно выделить три качественно различные части:

- 1) линейную – со слагаемыми, содержащими факторы в степени 1;
- 2) нелинейную – со слагаемыми, содержащими факторы в степени $m > 1$;
- 3) неаддитивную – со слагаемыми, содержащими произведения факторов.

Практика применения регрессионного анализа показывает, что нет необходимости рассматривать в уравнениях слишком высокие степени и произведения многих аргументов. На линейную часть уравнения часто приходится наибольшая часть информации (70–90%), а вклад нелинейной и неаддитивной частей сравнительно невелик. Следовательно, сначала необходимо описать объект системой множественных линейных регрессионных моделей, а затем оценить, насколько улучшается аппроксимация функции, если дополнительно вводятся в уравнение нелинейные и неаддитивные члены.

Линейные и нелинейные регрессионные уравнения, применяемые в моделировании хода роста древостоев, можно представить в виде трех типов:

- 1) линейная регрессия по x и коэффициентами a, b :

$$y = a + bx;$$

- 2) нелинейное уравнение по x и линейное по коэффициентам a, b, c, d :

$$y = a + bx + cx^2 + dx^3;$$

- 3) нелинейная модель как по фактору, так и по коэффициентам b, d :

$$y = ax_1^b + cx_2^{dx^3}.$$

Нелинейные модели, которые можно привести к линейному виду, называются *внутренне линейными*. Путем преобразования и замены

переменных внутренне линейные модели приводятся к линейной множественной регрессии вида:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n.$$

Нелинейные модели второй и более высоких степеней приводятся к линейному виду путем замены переменных.

Линеаризация нелинейных по параметрам зависимостей может привести к резко искаженным величинам дисперсий и оценок параметров регрессионной модели. С другой стороны, задача оценивания параметров нелинейным регрессионным анализом может быть сложной и иногда вообще нерешаемой. Поэтому следует особое внимание обратить на статистические предпосылки и методические аспекты регрессионного анализа.

Статистические методы отбора переменных в регрессионном анализе обычно противоположны по характеру критерия выбора «наилучшего» уравнения [14]:

с одной стороны – стремление включить в модель по возможности больше факторов, чтобы можно было более надежно определить прогнозируемые величины;

с другой стороны – стремление к тому, чтобы уравнение было простое и включало как можно меньше переменных, из-за затрат, связанных с получением данных при большом числе независимых переменных.

Нет однозначного статистического метода для выполнения этого выбора, субъективные суждения являются составной частью любого метода. Одним из наиболее эффективных методов является шаговый регрессионный анализ, который широко применяется в технических исследованиях.

При этом методе производится автоматический отбор переменных на основе оценки значимости коэффициентов и параметров регрессии.

Классический регрессионный анализ использует ряд постулатов. Эти постулаты гласят, что регрессия представляет собой линейную комбинацию некоторых линейно независимых базисных функций от факторов с неизвестными коэффициентами (параметрами). Факторы (x_1 , x_2 и т. д.) должны быть детерминированными и точно измеренными. В отношении зависимых переменных (y) считается, что это равнозначные (с одинаковой дисперсией) некоррелированные случайные величины, имеющие нормальное распределение. Такие предпосылки регрессионного анализа позволяют получить несмещенные и эффективные оценки коэффициентов регрессии методом наименьших

квадратов и осуществить проверки основных статистических гипотез относительно уравнения.

В соответствии с общими предпосылками регрессионного анализа при моделировании хода роста древостоев приняты следующие основные постулаты:

1) регрессионная модель должна объяснять не менее 90% вариаций зависимой переменной (коэффициент детерминации $R > 0,90$);

2) достоверность регрессии оценивается по F -критерию Фишера;

3) коэффициенты регрессии должны быть значимы по t -критерию Стьюдента на 5-процентном уровне значимости;

4) измерения (оценки) зависимых переменных должны быть равнозначны и не коррелированы, то есть не взаимосвязаны;

5) мультиколлинеарность (функциональная зависимость и тесная корреляция факторов) зависимых переменных (факторов) незначительная;

6) относительная ошибка регрессионной модели должна быть менее 10% среднего значения предсказываемой зависимой переменной;

7) остатки от регрессии должны быть без заметной автокорреляции, нормально распределены и без систематической составляющей.

Регрессионный анализ тесно связан с дисперсионным анализом. Коэффициент детерминации или квадрат коэффициента множественной корреляции должен быть равным 1. Коэффициент детерминации определяет вариацию зависимой переменной (высот, диаметров, запасов древостоев) относительно среднего уровня (тренда) линии регрессии хода роста древостоев, т. е. изменения их высот, диаметров, запасов с возрастом. Практически аппроксимацией полинома можно достигнуть высокой степени $R^2 = 1$, что вовсе не подтверждает адекватность модели реальному процессу.

Критерий Фишера (F -критерий) используется как общий критерий оценки достоверности регрессии с определенным уровнем вероятности. Особое внимание следует уделить исследованию остатков. Остатки есть разность между фактическими наблюдениями и значениями зависимой переменной величины, предсказанными по регрессионному уравнению.

Неудовлетворительное распределение остатков может обуславливаться рядом причин:

1) дисперсия остатков не постоянна, а растет со временем, поэтому надо применить взвешенный метод наименьших квадратов;

2) остатки имеют положительную систематическую составляющую и модель завышает результаты;

3) в модель следует включить линейный и квадратичный члены от времени;

4) регрессия характеризуется отрицательной систематической составляющей.

Если дисперсия остатков не постоянная, распределение остатков отличается от нормального, то следует ввести дополнительные члены уравнения или произвести преобразования наблюдений с помощью таксационных формул до регрессионного анализа.

Общая математическая модель временного ряда хода роста древостоев может быть представлена в виде:

$$Y(t) = V(t) + U(t),$$

где $V(t)$ – детерминированная компонента; $U(t)$ – случайная составляющая.

Детерминированную компоненту или систематическую составляющую можно рассматривать как некоторую лесорастительную норму, выявляющуюся в исследованиях массовых процессов роста насаждений. Это оптимальная лесорастительная норма роста по высоте, диаметру, запасу и т. д., к которой стремится древостой в данных лесорастительных условиях.

Случайная составляющая $U(t)$, подчиняющаяся некоторому вероятностному закону распределения, представляет колебания (отклонения) в росте вокруг лесорастительной нормы. Эти отклонения возникают в условиях произрастания отдельных насаждений, различий в биологической конкуренции деревьев в древостое, влиянии окружающих объектов, ошибок измерений и т. д. В общей математической модели временного ряда роста древостоев остатки представляют собой случайную составляющую. Если регрессионная модель признана правильной, то остатки от регрессии представляют собой ошибки измерений.

В принципе, при повторении ситуации целиком функция $V(t)$ должна была бы оставаться одной и той же (при одинаковых условиях), а случайные составляющие оказались бы различными как различные реализации случайного процесса роста леса.

Существующие таблицы хода роста насаждений представляют собой модели, в которых влияние возраста древостоев проявляется только в детерминированной составляющей $V(t)$ с той или иной степенью надежности и достоверности. Это – классическая ситуация регрессионных моделей, где предполагается, что течение времени никак не отражается на случайной составляющей, т. е. предполагается, что математическое ожидание (среднее значение) случайной составляющей

тождественно (равно) нулю, дисперсия равна некоторой постоянной величине, а значения $U(t)$ в различные моменты времени не коррелированы. Такое определение приводит к тому, что всякую зависимость от времени приходится включать в систематическую составляющую $V(t)$.

Регрессия (линейная или криволинейная) обычно может быть использована для аналитического выравнивания опытных данных, однако использовать ее для экстраполяции или прогноза роста древостоев следует весьма осторожно, так как вопрос о качестве приближения систематической составляющей данной регрессией не может быть решен исходя лишь из значений, полученных в результате наблюдений.

Проведение исследований в условиях так называемого пассивного эксперимента (древостой растет под влиянием факторов окружающей среды, в том числе хозяйственной деятельности человека) является одной из причин низкой работоспособности регрессионных моделей, полученных в условиях пассивного эксперимента при сильной корреляции входных переменных и искажениях в оценках коэффициентов регрессии.

Для математического описания детерминированной составляющей или тренда временного ряда роста древостоев $V(t)$ применяются различные функции – параболы 2–3 порядков (К. Е. Никитин, Л. Странд, М. Продан, Н. Н. Свалов, Я. А. Юдицкий), логарифмическая модель (Бэкман) и т. д. Выделяют два основных признака кривых роста деревьев и древостоев:

1) кривые роста являются асимптотическими, т. е. при неограниченном увеличении возраста кривые имеют асимптоту – прямую, параллельную оси абсцисс;

2) текущий прирост кривой роста возрастает и достигает максимума в точке перегиба кривой, а затем уменьшается и медленно падает до нуля, т. е. до полного распада кривой.

Максимум прироста варьируется в зависимости от древесной породы и условий произрастания.

Число функций роста, предложенных в разное время исследователями, составляет несколько сотен и увеличивается с каждым годом. Наиболее часто для моделирования хода роста древостоев используются представленные в табл. 3.1.

Для составления таблиц хода роста сосновых древостоев на основании имеющегося экспериментального материала анализируется течение процесса для диаметра, высоты, суммы площадей сечений и запаса.

Данные характеристики наиболее характерно могут отобразить картину роста древостоев.

Функции временных рядов

Функции	Уравнения	
Бэкмана	$\lg y = a + b \lg x + c(\lg x)^2$	(3.1)
Коллера	$y = a \cdot x^b \cdot e^{-cx}$	(3.2)
Теразани	$y = a \cdot e^{\frac{b}{x}}$	(3.3)
Митчирлиха	$y = A_0 \cdot (1 - e^{-cx})$	(3.4)
Герхарда	$y = a + bx$	(3.5)
Корсуня	$y = \frac{x^2}{a + bx + cx^2}$	(3.6)
Дракина – Вуевского	$y = A_0 (1 - e^{-kx})^m$	(3.7)
Никитина	$y = a + bx + cx^2 + dx^3$	(3.8)
Странда	$y = \frac{a}{(a + bx)}$	(3.9)
Хаглюнга	$y = A_0(1 - e^{-kx})^{(1-m)}$	(3.10)

Из уравнений, предложенных в табл. 3.1, возможных уравнений из литературных источников, а также разработанных самими студентами в результате регрессионного анализа подбираются уравнения, наиболее точно описывающие изменение таксационного показателя с возрастом. Критериями удачного подбора служат коэффициент корреляции, который должен стремиться к 1,0, стандартная ошибка, которая должна быть близка к 0, и получаемые коэффициенты, которые должны быть значимы по *t*-критерию.

Для проведения регрессионного анализа в пакете программ *Statistica* в главном меню выбирается опция *Анализ / Углубленные методы анализа / Нелинейное оценивание* (рис. 3.1).

В появившемся окне выбирается функция *Регрессия пользователя – метод наим. квадратов МНК* (рис. 3.2).

Далее по запросу вводится оцениваемая функция зависимости таксационного показателя от возраста в соответствии с правилами ввода формул и уравнений в пакете программ *Statistica* (рис. 3.3). Сначала прослеживается связь диаметра от возраста (далее последовательно: высоты, суммы площадей сечений и запаса). Следовательно, в окне ввода функции указываются соответствующие данным таксационным показателям номера переменных (рис. 3.3).

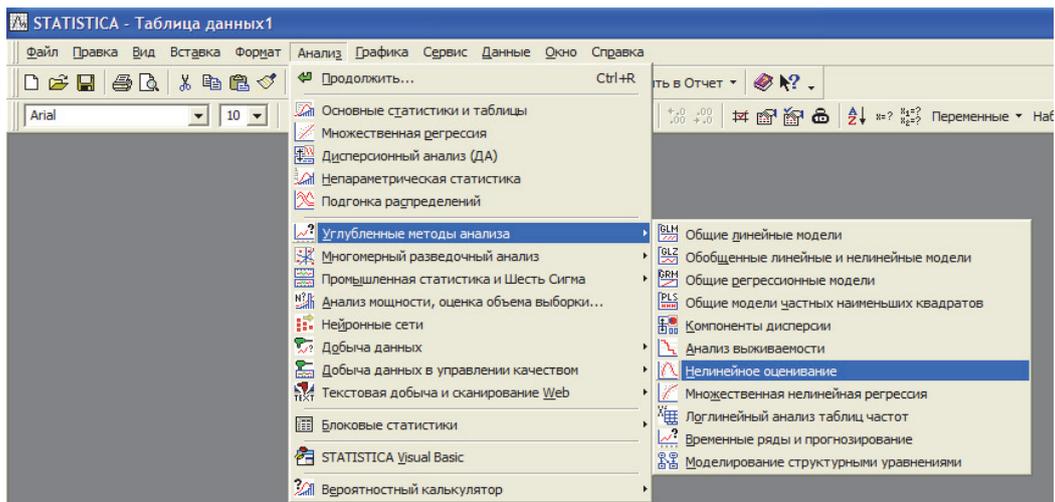


Рис. 3.1. Работа в главном меню

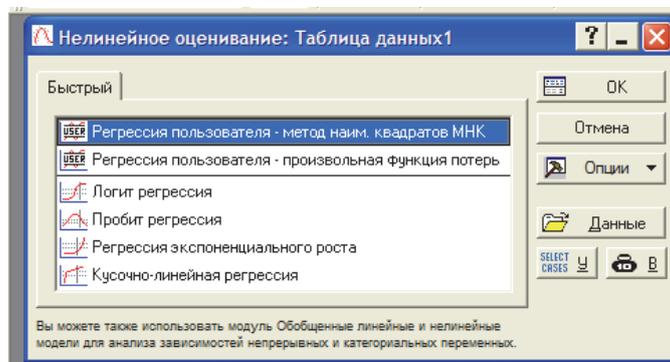


Рис. 3.2. Выбор метода наименьших квадратов

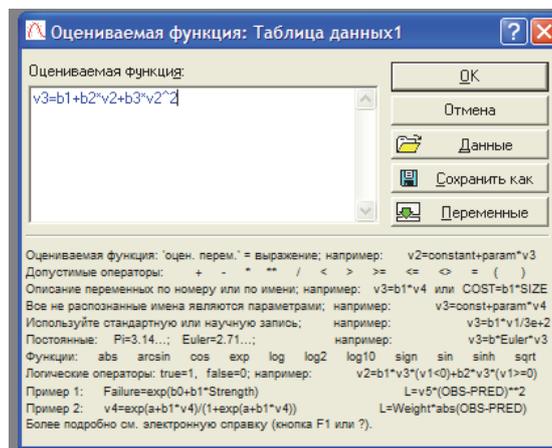


Рис. 3.3. Окно ввода функции

После ввода функции проводится оценка нелинейной модели методом Гаусса – Ньютона, для чего указывается соответствующее требование в окне (рис. 3.4).

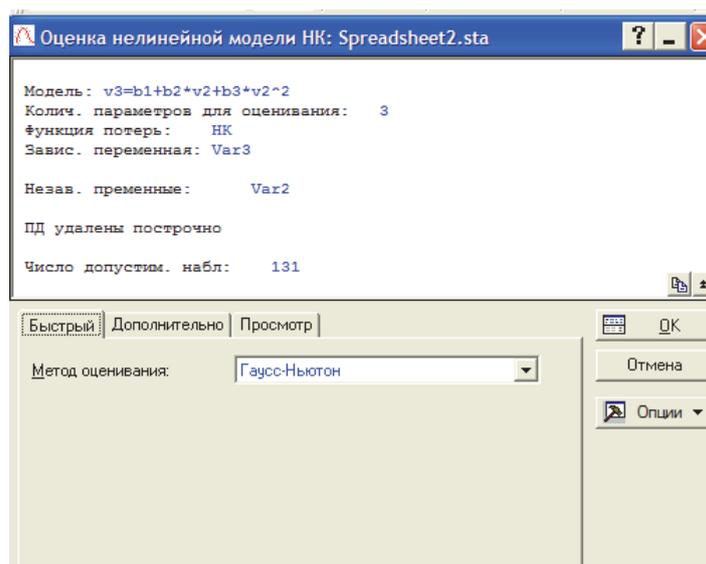


Рис. 3.4. Выбор метода оценки модели

Результатом анализа являются оценки регрессии, рассчитываемые в следующих окнах. Сначала оцениваются дисперсия и коэффициент корреляции R . Далее в том же окне последовательно выбираем опции *Дисперсионный анализ* и *Оценки параметров модели* (рис. 3.5).

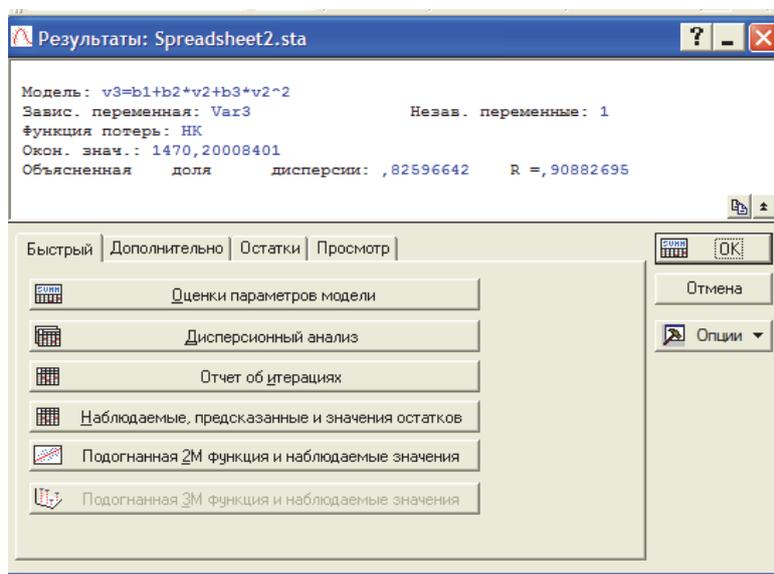


Рис. 3.5. Результаты быстрой оценки

Результатом расчета являются параметры и критерии регрессионной модели, отраженные в соответствующих окнах. Во-первых, проводится дисперсионный анализ: вычисляется сумма квадратов регрессии и остатков, а также критерий Фишера (F) (рис. 3.6).

Эффект	1 Сум. квадратов	2 СС	3 Сред. квадраты	4 F-знач.	5 p-знач.
Регрессия	67868,21	3,0000	22622,74	1969,603	0,00
Остатки	1470,20	128,0000	11,49		
Сумма	69338,41	131,0000			
Привед. сумма	8447,80	130,0000			
Регрессия с Приведенной Суммой	67868,21	3,0000	22622,74	348,133	0,00

 The left sidebar shows a tree view with 'Workbook3*' expanded, containing 'Нелинейное оц', 'Результат', 'Модель', 'Модель', and 'Модель'.

Рис. 3.6. Результаты дисперсионного анализа

Во-вторых, определяются другие параметры анализируемой модели (рис. 3.7). В качестве основных статистических показателей для выбора структурных частей модели используются их стандартные ошибки, критерий Стьюдента, а также нижний и верхний доверительные пределы.

ая	Оценка	Стандарт ошиб	t-знач. сс = 128	p-уров.	Ниж. Дов Предел	Вер. Дов Предел
b1	0,312925	1,566334	0,19978	0,841968	-2,78633	3,412184
b2	0,420163	0,051068	8,22754	0,000000	0,31912	0,521209
b3	-0,001054	0,000383	-2,75460	0,006733	-0,00181	-0,000297

 The left sidebar shows a tree view with 'Workbook3*' expanded, containing 'Нелинейное оц', 'Результат', 'Модель', 'Модель', and 'Модель'. The text above the table indicates 'Модель: v3=b1+b2*v2+b3*v2^2 (Spreadsheet2.sta)', 'Зав. Пер.: Var3', and 'Уров. значимости: 95.0% (альфа=0.050)'.

Рис. 3.7. Оценка параметров модели

Как показано выше, рассматриваются различные виды и типы моделей. Наряду с этим возможно изменение стандартных уравнений и введение в них новых переменных, изменение степени, арифметических действий и т. д. Полученные параметры всех рассмотренных моделей по диаметру заносятся в таблицу работы (табл. 3.2).

Таблица 3.2

Уравнения зависимости таксационного показателя от возраста

Анализируемое уравнение	Дисперсия	Коэффициент корреляции <i>R</i>	Критерий Фишера <i>F</i>

Для уравнений, имеющих наилучшие результаты регрессионного анализа, составляется табл. 3.3 на основании оценки параметров данной модели (рис. 3.7).

Таблица 3.3

Параметры модели зависимости таксационного показателя от возраста

Коэффициент	Значение коэффициента	Стандартная ошибка	Критерий Стьюдента t	p -уровень	Нижний предел	Верхний предел

Далее для графического отображения полученных результатов этого же лучшего уравнения строится график зависимости таксационного показателя от возраста.

Для этого в окне *Результаты* (рис. 3.5) выбирается опция *Подогнанная 2М функция и наблюдаемые значения*, в результате чего выстраивается график (рис. 3.8), который копируется в курсовую работу.

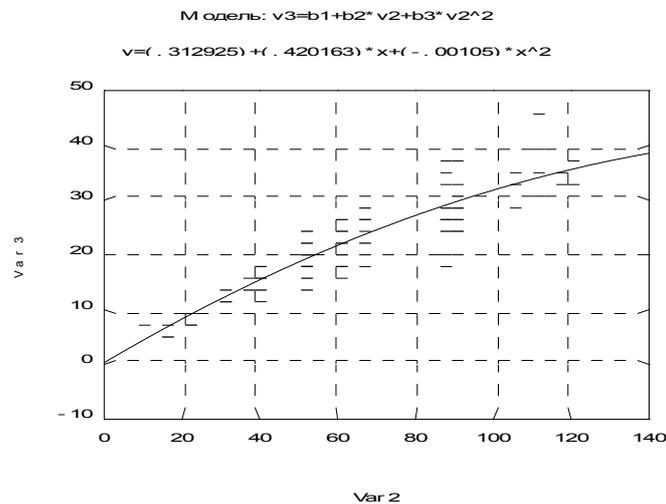


Рис. 3.8. График зависимости диаметра от возраста

Аналогичным образом оцениваются параметры регрессионного анализа всех таксационных показателей.

При анализе показателей по сумме площадей сечений и запасу имеющихся пробных площадей следует отметить высокую степень вариации показателей и низкий коэффициент корреляции их с возрастом, что обусловлено различной относительной полнотой древостоев. Делается вывод о необходимости регрессионного анализа уравнений связи суммы площадей сечений и запаса при полноте 1 с возрастом, проводятся соответствующие расчеты и формируются таблицы и графики.

В выводе указывается, по каким выбранным уравнениям и по каким таксационным показателям в дальнейшем будут построены авторские таблицы хода роста.

3.3. Построение таблиц хода роста древостоев

Построение таблиц хода роста проводится по разработанным в п. 3.2 регрессионным уравнениям и принятым в лесотаксационной науке формулам. Помимо найденных регрессионных моделей по диаметру, высоте, сумме площадей сечений и запасу, для таблиц хода роста также вычисляются следующие показатели: число стволов (N), видовая высота (HF), видовое число (F), текущий прирост ($Z_{\text{тек}}$), средний прирост ($Z_{\text{ср}}$).

Число стволов найдем по следующей формуле:

$$N = \frac{40\,000G}{\pi D^2}, \quad (3.11)$$

где N – число стволов, шт.; G – сумма площадей сечения, м²; D – средний диаметр насаждения, см.

Видовую высоту HF можно найти по следующей регрессии:

$$HF = 1,1416 + 0,461H - 0,5608HD^{-2} + 0,0086H_{100}, \quad (3.12)$$

где H – средняя высота насаждения, м; H_{100} – это индекс класса бонитета (высота древостоя в возрасте 100) (табл. 3.4). Класс бонитета определяется как средний из предложенных в табл. 2.1.

Таблица 3.4

Индексы классов бонитета

Класс бонитета	Ia	Iб	I	II	III	IV	V	Va	Vб
Шифр	37	33	29	25	21	17	13	9	8

Видовое число F находится по формуле:

$$F = \frac{HF}{H}. \quad (3.13)$$

Текущий прирост $Z_{\text{тек}}$ вычисляется следующим образом:

$$Z_{\text{тек}} = \frac{M_a - M_{a-5}}{5}, \quad (3.14)$$

где M_a – текущий запас, м³; M_{a-5} – запас древостоя 5 лет назад, м³.

Средний прирост $Z_{\text{ср}}$ равен:

$$Z_{\text{ср}} = \frac{M}{A}, \quad (3.15)$$

где M – запас древостоя, м³; A – возраст древостоя, лет.

Для построения таблиц хода роста используются электронные таблицы *Microsoft Excel*. В первую строку вводятся название колонок шапки таблицы. В первую колонку *Возраст*, начиная со второй строки, вводится возраст с 20 до 100 лет с периодичностью 5 лет. Во вторую строку всех остальных колонок, в соответствии с правилами написания формул в *Microsoft Excel*, заносятся уравнения, выбранные в п. 3.2, а также формулы (3.11)–(3.15). Далее эти формулы копируются на всю зону таблицы. Результатом является построенная таблица хода роста модального древостоя усредненного класса бонитета, соответствующая варианту курсовой работы, которая и переносится в курсовую работу (табл. 3.5).

Таблица 3.5

**Таблица динамики таксационных показателей
сосновых древостоев ... класса бонитета**

Возраст, лет	Высота, м	Диаметр, см	Число стволов, шт	Сумма площадей сечений, м ²	Видовое число	Запас, м ³	Прирост, м ³	
							средний	текущий
20	8,8	7,0	6028	23,20	0,568	106	5,30	–
25	10,9	9,2	3986	26,50	0,541	138	5,52	6,40
...

Для обоснования полученных результатов, проверки их на адекватность данные таблиц хода роста сравниваются с показателями таблиц хода роста других авторов: В. Ф. Багинского (табл. П.5–П.6), А. М. Кожевникова (табл. П.3–П.4), В. С. Мирошникова, В. Е. Ермакова (табл. П.7) [10], О. А. Атрощенко). Для сравнения результатов однотипных методик используется таблица хода роста, построенная по уравнениям О. А. Атрощенко, разработанным для эталонных древостоев:

$$\lg D = -1,1098 + 0,8494 \lg A + 0,6698 \lg H \cdot 100; \quad (3.16)$$

$$\lg H = -1,2400 + 0,7586 \lg A + 0,8255 \lg H \cdot 100; \quad (3.17)$$

$$\lg G = 0,4610 + 0,3013 \lg A + 0,3823 \lg H \cdot 100; \quad (3.18)$$

$$M = GHF. \quad (3.19)$$

На основании предложенных уравнений (формулы (3.16)–(3.19)), с использованием формул (3.11)–(3.15), аналогично своей таблице в электронной таблице *Microsoft Excel* студентами составляется табл. 3.6.

**Таблица хода роста сосновых древостоев I класса бонитета
по модели О. А. Атрощенко**

Возраст, лет	Высота, м	Диаметр, см	Число стволов, шт	Сумма площадей сечений, м ²	Видовое число	Запас, м ³	Прирост, м ³	
							средний	текущий
20	9,4	9,0	4072	25,9	0,6	136	6,8	–
25	11,4	10,7	3104	27,7	0,6	168	6,7	6,4
30	13,3	12,2	2487	29,2	0,5	201	6,7	6,6
35	15,2	13,8	2062	30,6	0,5	235	6,7	6,8
40	17,0	15,2	1753	31,9	0,5	269	6,7	6,8
45	18,8	16,6	1519	33,0	0,5	303	6,7	6,8
50	20,6	18,0	1336	34,1	0,5	338	6,8	7,0
55	22,3	19,4	1190	35,1	0,5	373	6,8	7,0
60	24,0	20,7	1071	36,0	0,5	409	6,8	7,2
65	25,7	22,0	971	36,9	0,5	445	6,8	7,2
70	27,3	23,3	888	37,7	0,5	481	6,9	7,2
75	29,0	24,5	816	38,5	0,5	518	6,9	7,4
80	30,6	25,8	755	39,3	0,5	555	6,9	7,4
85	32,3	27,0	701	40,0	0,5	592	7,0	7,4
90	33,9	28,2	654	40,7	0,5	629	7,0	7,4
95	35,4	29,3	612	41,4	0,5	667	7,0	7,6
100	37,0	30,5	575	42,0	0,5	705	7,1	7,6

Далее проводится сравнительный анализ таксационных показателей из таблицы динамики таксационных показателей, разработанной студентом с данными таблиц хода роста (ТХР) других авторов. ТХР подбираются для того класса бонитета, который соответствует среднему значению по пробным площадям, используемым при разработке регрессионных уравнений.

Величина отклонения O , % определяется по формуле

$$O = \frac{\Pi - T}{T} 100, \quad (3.20)$$

где Π – практические данные, полученные студентом; T – теоретические показатели (значения из таблиц хода роста различных авторов).

Полученные значения сводятся в табл. 3.7.

Таблица 3.7

Таблица отклонений показателей модели от таблиц хода роста
В. Ф. Багинского, А. М. Кожевникова, В. Е. Ермакова, О. А. Атрощенко

Возраст, лет	Отклонения по таблицам, %															
	Диаметр, см				Высота, м				Запас, м ³				Сумма площадей сечений, м ²			
	по В. Ф. Багинскому	по В. Е. Ермакову	по О. А. Атрощенко	по В. Ф. Багинскому	по А. М. Кожевникову	по В. Е. Ермакову	по О. А. Атрощенко	по В. Ф. Багинскому	по А. М. Кожевникову	по В. Е. Ермакову	по О. А. Атрощенко	по В. Ф. Багинскому	по А. М. Кожевникову	по В. Е. Ермакову	по О. А. Атрощенко	
1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
20	-10,3	-36,9	-9,3	-20,1	5,4	-18,5	2,2	-8,6	-7,1	-1,4	-2,2	1,8	-0,4	3,2	-5,4	
...	

Производится анализ полученных результатов с обязательным объяснением возможных отклонений. Особое внимание следует уделить значительным величинам (более 10% – для отклонений по диаметру и высоте и более 20% – для отклонений по сумме площадей сечений и запасу).

По данным проведенного анализа выбирается таблица хода роста, наиболее точно совпадающая с построенной студентом, и делается вывод о возможности (или невозможности) построения программ формирования древостоев на основании полученной таблицы динамики таксационных показателей.

4. ПРОГРАММА ФОРМИРОВАНИЯ СОСНОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ РУБКАМИ УХОДА

4.1. Применение имитационного моделирования в программах рубок ухода

Имитационное моделирование широко используется для решений различных задач лесного хозяйства:

- 1) при моделировании строения, роста и производительности насаждений;
- 2) в разработке программ рубок ухода;
- 3) для имитации естественного возобновления лесов;
- 4) при разработке альтернативных вариантов лесоуправления.

Основная цель построения моделей – прогнозирование общей производительности древостоев для оценки различных вариантов (режимов) ведения лесного хозяйства.

Ряд систем разработан в соответствии с принятым в стране стандартным режимом рубок ухода за лесом, при этом существуют системы имитации рубок ухода и роста древостоя, которые не связаны с каким-либо определенным режимом управления лесным хозяйством.

Для имитации рубок ухода создаются специальные подпрограммы схем рубок ухода. Численность по ступеням толщины после рубки получают путем умножения численности до рубки на соответствующий множитель. В таких моделях производительности и строения древостоев прогнозирование роста древостоев осуществляется путем предсказания трех основных признаков:

- 1) абсолютного текущего прироста по площади сечения;
- 2) отпада в значениях числа деревьев;
- 3) отпада в значениях суммы площадей сечений.

Модели данного типа могут быть полезны при создании систем принятия решения – оценке вариантов ведения лесного хозяйства или режимов рубок ухода. Серьезными недостатками этих моделей являются отсутствие надежности в прогнозировании прироста отдельных деревьев по площади сечения и отпаду, а также значительный объем вычислительных работ.

В лесной таксации разработана методика расчета общей производительности насаждений по текущему приросту. Цель – получить совместные модели роста и производительности насаждений, т. е. модель

производительности может быть получена интегрированием модели текущего прироста по запасу. Достоинства такой системы:

- 1) логическая взаимосвязь;
- 2) возможность по моделям производительности разработать соответствующие модели прироста и наоборот.

Имитационные модели позволяют построить систему имитации роста древостоев при различном первоначальном числе деревьев на 1 га, первоначальной сумме площадей сечений, различных вариантах режимов рубок ухода. Имеется достаточно примеров практического применения имитационного моделирования для разработки таблиц роста и производительности насаждений, программ рубок ухода, имитации лесовосстановления и других лесохозяйственных мероприятий.

Однако все модели роста и производительности древостоев проводят по единому алгоритму (рис. 4.1).

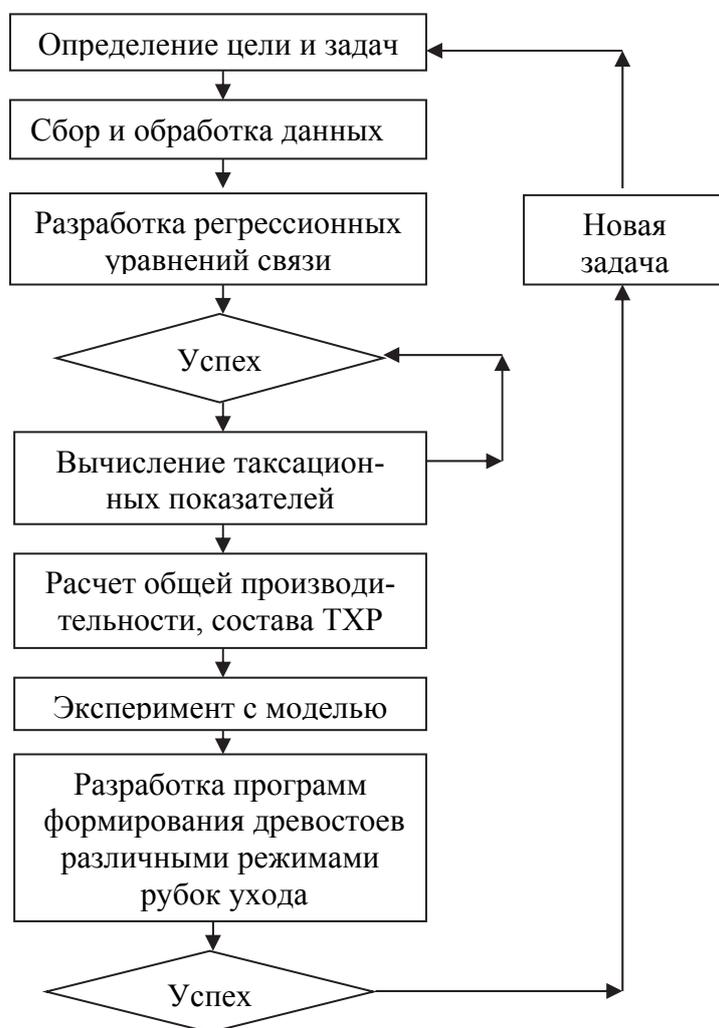


Рис. 4.1. Структура имитационной модели рубок ухода

Во-первых, определяются цель моделирования и задачи, требующие решения. Целью моделирования является модель роста нормальных и эталонных насаждений с различными режимами рубок ухода и без них. В соответствии с этим производятся сбор и обработка данных таксации насаждений, отбор и сортировка экспериментального материала.

Во-вторых, выдвигается ряд гипотез в отношении логической структуры и формы регрессионных моделей связи таксационных показателей древостоя с возрастом, классом бонитета, типом леса и другими факторами. Выполняется регрессионный анализ и оцениваются параметры регрессий связи, их точность и надежность.

По моделям связи методами и алгоритмами, применяемыми в лесной таксации, вычисляются таксационные показатели растущего древостоя, отпада, общая производительность и прирост.

Согласно данному алгоритму составляется программа и выполняются расчеты по имитационной модели для разных классов бонитета и типов леса.

На основании эксперимента с моделью выполняются анализ и интерпретация результатов, сравнение их с данными перечислительной таксации древостоев на стационарах. Выбирается оптимальный вариант роста и производительности древостоев без проведения рубок ухода.

С использованием полученных результатов и нормативных материалов по рубкам ухода разрабатываются таксационные программы формирования древостоев различными режимами рубок ухода при изменяемом обороте главной рубки насаждений.

При сравнении результатов вычислений определяется оптимальная программа формирования сосновых древостоев рубками ухода. Новые, более точные данные предопределяют новую формулировку задачи, и этапы в разработке имитационной модели повторяются.

Теоретическая модель оптимальной производительности сосновых древостоев основана на имитационной модели рубок ухода. Она является важным инструментом при планировании ведения рубок ухода.

Имитационные модели рубок ухода разрабатываются в трех направлениях:

1) создание программ формирования насаждений по типам леса и режимам рубок ухода;

2) имитация схем назначения рубок ухода в насаждении на оборот рубки;

3) имитация пространственного распределения деревьев при рубках ухода.

Недостаток имитационного моделирования – большой объем программирования ввиду отсутствия стандартных программ, эвристический подход в выборе лучших регрессионных моделей связи.

Основной задачей имитационного моделирования при этом является разработка программ формирования насаждений, а именно показателей, регламентирующих рубки ухода для достижения поставленной цели (максимум общей производительности на оборот рубки и максимум выхода деловой крупномерной древесины). Большинство программ составлены по отдельным регионам и предусматривают оптимизацию числа деревьев на единице площади по годам или отдельным периодам жизни насаждений.

4.2. Нормативные материалы при моделировании оптимальной производительности

Основным нормативом при моделировании древостоев оптимальной производительности является проведение рубок ухода, которые относятся к рубкам промежуточного пользования. Нормы планирования и проведения рубок ухода зафиксированы в «Правилах рубок леса в Республике Беларусь» [12], согласно которым: «Рубки ухода за лесом являются важнейшим лесохозяйственным мероприятием, направленным на выращивание хозяйственно ценных, высокопродуктивных, устойчивых насаждений и улучшение других полезных свойств леса. Они заключаются в периодической вырубке из насаждений нежелательных деревьев и кустарников для создания благоприятных условий роста лучшим деревьям главных пород и служат источником получения древесины и другого сырья».

Основными задачами рубок ухода являются:

- 1) формирование целевого породного состава, густоты и структуры насаждений;
- 2) повышение качества, биологической устойчивости и биологического разнообразия древостоев без снижения их селекционно-генетического потенциала;
- 3) сохранение и усиление защитных, водоохраных, санитарно-гигиенических и других полезных свойств леса;
- 4) своевременное использование древесины в процессе выращивания лесов и сокращение сроков выращивания технически спелой древесины;
- 5) предотвращение накопления в лесу сухостоя, валежа и другой поврежденной древесины в количестве, требующем назначения уборки захламленности.

Основными нормативами для назначения и оценки качества рубок ухода являются: возраст начала проведения рубок ухода, полнота (сомкнутость) насаждения, интенсивность и повторяемость рубки.

Интенсивность рубок ухода определяется количеством вырубаемой древесины, выраженным в процентах от запаса до рубки, а также степенью снижения полноты насаждения или сомкнутости полога. При установлении интенсивности рубок данные таксационного описания должны быть скорректированы на давность лесоустройства на основании материалов отводов лесосек. Интенсивность рубок ухода устанавливается в зависимости от целевого назначения насаждения, его полноты, состава, возраста, класса бонитета, строения и состояния. В насаждениях с полнотой 1,0 устанавливается следующая интенсивность:

- очень слабая – 10% от запаса до рубки;
- слабая – 11–20%;
- умеренная – 21–35%;
- сильная – 36–50%;
- очень сильная – свыше 51%.

Повторяемость рубок ухода – период между проведением очередных рубок ухода в древостое, зависящий от лесоводственно-таксационной характеристики насаждения и его общего состояния. Чем выше интенсивность отдельных приемов рубок, тем реже их повторяемость, и наоборот.

В зависимости от возраста насаждений (на момент проведения) осуществляются следующие виды рубок ухода:

- осветление;
- прочистка;
- прореживание;
- проходная рубка.

В чистых древостоях рубки ухода проводятся реже, чем в смешанных и сложных. При проведении рубок ухода по рабочим блокам повторяемость рубок целесообразно принять кратной ревизионному периоду базового лесоустройства, а именно:

- для осветления и прочистки – 5 лет;
- прореживания – 5 или 10;
- проходной рубки – 10 или 20.

Основные нормативы по рубкам представлены в табл. 4.1.

В сосновых насаждениях, согласно «Правилам рубок леса в Республике Беларусь», проводятся следующие виды рубок ухода [5].

1. Осветление проводится до 10 лет преимущественно в смешанных и сложных молодняках и не сомкнувшихся лесных культурах с наличием

яруса второстепенных пород с трехлетнего возраста. Задачей осветления является формирование древостоя желаемого состава, регулирование густоты и увеличение или сохранение в древостое доли участия главной породы (пород), соответствующей данным лесорастительным условиям. В чистых молодняках, за исключением перегущенных и неоднородных по происхождению, осветление, как правило, не проводится.

2. Прочистки проходят в 11–20 лет с целью улучшения состава, регулирования густоты и размещения деревьев в насаждении. Прочистка наряду с уходом за составом обеспечивает преобладание и равномерное размещение деревьев главных пород по площади, а также сохранение полезных для роста подгоночных пород. При проведении прочисток формируется структура будущего древостоя и регулируется количественное соотношение между отдельными породами.

3. Прореживания осуществляются в 21–40 лет с целью создания в насаждении благоприятных условий для формирования стволов и крон лучших деревьев, ухода за составом, формирования второго яруса в сложных древостоях. В чистых сосняках при прореживании вырубают худшие и отставшие в росте деревья, оставляют лучшие деревья I и II классов роста. Оставляемые деревья должны равномерно размещаться по площади. Перегущенные участки разреживают менее интенсивно, срок повторяемости сокращают. Убирают лишнюю примесь, проводят разреживание верхнего полога до полноты не ниже 0,7.

4. Проходные рубки проводятся с 40 лет и более в целях создания в насаждении благоприятных условий для увеличения прироста лучших деревьев и заканчивается за 15 лет до рубки главного пользования. При проведении проходной рубки вырубается худшие деревья, ведется уход за вторым ярусом, подростом, создаются условия для естественного возобновления леса.

Таблица 4.1

Виды рубок ухода

Вид рубок ухода	Возраст насаждений, лет			
	Хвойные	Лиственные		
		Дуб, ясень, клен	Береза, ольха черная, липа, граб	Тополь, осина, ольха серая
Осветление	3–10	3–10	3–10	до 5
Прочистка	11–20	11–20	11–20	6–10
Прореживание	21–40	21–40	21–30	11–20
Проходная рубка	41 и выше	41 и выше	31 и выше	21 и выше

В молодняках, где целевые хвойные и твердолиственные породы образуют второй ярус, допускается полная вырубка мягколиственных пород при условии хорошего состояния главных пород.

При прореживании и проходной рубке в чистых насаждениях оптимальная полнота после рубки должна составлять 0,7–0,8; в смешанных и сложных насаждениях, а также в неоднородных по происхождению – 0,6–0,7. При проведении проходной рубки должен сохраняться имеющийся подрост главных древесных пород и создаваться условия для появления самосева.

В насаждениях с первым ярусом из нежелательных древесных пород, имеющих в нижних ярусах достаточное количество жизнеспособных деревьев ценных пород, снижение полноты первого яруса при рубке не ограничивается.

В смешанных и сложных насаждениях интенсивность рубки выше, чем в чистых; в высоких бонитетах – больше, чем в низких. В чистых молодняках сомкнутость не должна быть ниже 0,7, а при прореживании в чистых насаждениях оптимальная полнота после рубки должна составлять 0,7–0,8. При хорошем состоянии чистых сосновых молодняков и отсутствии сбыта маломерной древесины уход за молодняками проводить нецелесообразно. Прореживания могут не проводиться в возрасте до 30 лет.

Рубки ухода в сосновых насаждениях. Сосна имеет мощную корневую систему, быстро растет в молодом возрасте, светолюбива и не требовательна к почве. В перегушенных насаждениях подвержена снеголому и снеговалу.

В сосновых насаждениях проводятся достаточно интенсивные рубки ухода: от 25 до 40%, в зависимости от типов леса и вида рубки ухода.

Осветление.

1. В чистых сосновых молодняках, как правило, не проводится во избежание заселения сосновых молодняков подкорным клопом.

2. Допускаются большие просветы между кронами.

3. В смешанных и сложных молодняках с примесью второстепенных пород от 30% и выше осветление должно проводиться с момента появления заглушения или охлестывания сосны с 3 до 10 лет. Вырубаются лиственные породы и кустарники, перерастающие и затеняющие сосну.

Прочистка. Проводится в чистых и смешанных молодняках. В чистых сосняках она назначается при появлении резкой дифференциации деревьев по высоте (в возрасте 12–15 лет). Из насаждения удаляются отставшие в росте деревья, сильно разросшиеся, больные и

поврежденные. В перегушенных культурах (более 10 тыс. штук на 1 га) с узкими междурядьями (шириной 1–1,5 м) допускается вырубка сосны рядами. Однако сильное разреживание чистых сосняков в этом возрасте недопустимо, так как уменьшится текущий прирост и создадутся благоприятные условия для заселения подкорным клопом.

В смешанных молодняках при проведении прочистки продолжается освобождение сосны от угнетения ее второстепенными породами. Вырубаются лиственные породы и кустарники. Изреживаются перегушенные биогруппы сосны. Желательная примесь березы на бедных почвах – до 10%, на более богатых – до 20%. Примесь лиственных пород – дуба, березы, липы, клена – в сложных насаждениях желательна до 30–40%. При этом дуб, клен и липу целесообразно выводить в верхний полог, а из других формировать второй ярус.

Прореживание. В чистых сосняках при прореживании вырубают худшие и отставшие в росте деревья, оставляют лучшие деревья I и II классов роста. Оставляемые деревья должны равномерно размещаться по площади. Перегушенные участки изреживают менее интенсивно, а срок повторяемости сокращают. Убирают лишнюю примесь, проводят изреживание верхнего полога до полноты не ниже 0,7.

Распределение прироста по возрастным периодам, как правило, неодинаково при различных степенях рубки. Если сильные рубки проводятся рано, то есть через несколько лет после смыкания полога, то через несколько лет наблюдается значительный прирост. Если сильные рубки продолжать в средневозрастных и приспевающих насаждениях, то наиболее часто это приводит к потере прироста.

Этот факт не очень важен для общей производительности, но может повлиять на сортиментный состав. Во всех случаях интенсивные рубки ухода имеют значительное влияние на средние диаметры древостоя. Насаждения после рубок содержат деревья больших диаметров, т. е. увеличивается выход крупной деловой древесины. На выход мелких сортиментов интенсивность рубок ухода не влияет. Товарность вырубаемой древесины повышается при проведении рубок сильной интенсивности.

Однако качество запаса получаемой древесины падает с увеличением интенсивности рубок. Сбег деревьев среднего размера увеличивается. При увеличении интенсивности рубок ухода уменьшается плотность древесины и увеличивается толщина ветвей. В хороших лесорастительных условиях наблюдается заметное снижение плотности древесины из-за очень интенсивных рубок ухода, в то время как в худших условиях произрастания интенсивность рубок ухода на качество древесины не влияет.

4.3. Алгоритм модели оптимальной производительности

На основании имеющихся рекомендаций с учетом основного нормативного документа «Правила рубок в лесах Республики Беларусь» студентами разрабатываются таксационные программы формирования древостоев оптимальной производительности при различных режимах лесовыращивания. Все расчеты моделирования проведены в программе «*ZZZ.dena*».

Вводными данными являются регрессионные модели для определения хода роста древостоев по диаметру, высоте, сумме площадей сечений, видовой высоте, общая производительность из таблиц хода роста, интенсивность, повторяемость и оборот рубки. Расчеты проводятся по следующему алгоритму.

Вырубаемый запас определяется по формуле

$$M_{\text{выр}} = M_{\text{до}} \cdot P_{\text{м}}, \quad (4.1)$$

где $M_{\text{выр}}$ – запас, вырубленный во время рубок ухода, м³; $M_{\text{до}}$ – запас до рубки, м³; $P_{\text{м}}$ – процент вырубаемой древесины, %.

Запас, оставшийся после рубки, вычисляется:

$$M_{\text{после}} = M_{\text{до}} - M_{\text{выр}}, \quad (4.2)$$

где $M_{\text{после}}$ – запас после рубок ухода, м³; $M_{\text{до}}$ – запас до рубки ухода, м³.

Если в текущем году проводилась рубка, то запас находится по формуле:

$$M_{\text{до}}^1 = M_{\text{до}} + 5\bar{Z}_V^n, \quad (4.3)$$

где $M_{\text{до}}^1$ – запас до рубки через пять лет, м³; $5\bar{Z}_V^n$ – средний периодический прирост за 5 лет.

Если в текущем году рубка не проводилась, то запас рассчитывается:

$$M_{\text{до}}^1 = M_{\text{после}} + 5\bar{Z}_V^n. \quad (4.4)$$

Вырубленный запас без коры определяется:

$$M_{\text{б/к}} = M_{\text{выр}} \cdot (100 - P_{\text{к}}), \quad (4.5)$$

где $P_{\text{к}}$ – процент коры от объема дерева, взятый в зависимости от среднего диаметра вырубаемых деревьев, % (для диаметра 8–12 см равен 16%, для 12–16 см – 14%, для 16–20 см – 13%, для 20 см и более – 12%).

Вычисляется средний объем дерева в древостое:

$$V_{\text{ср}} = \frac{M_{\text{до}}}{N_{\text{до}}}, \quad (4.6)$$

где $V_{\text{ср}}$ – средний объем ствола растущего дерева; $N_{\text{до}}$ – количество деревьев до вырубki, шт.

Вырубке подлежат худшие деревья, объем которых определяется по формуле:

$$V_{\text{выр}} = V_{\text{выр}} \cdot P_V, \quad (4.7)$$

где $V_{\text{выр}}$ – средний объем вырубленного дерева; P_V – процент, который составляет среднее вырубляемое дерево по отношению к среднему дереву древостоя, %. Данное отношение равно

$$P_V = \frac{V_{\text{отпада}}}{V_{\text{ср}}} \cdot 100\%, \quad (4.8)$$

где $V_{\text{отпада}}$ – средний объем деревьев отпада по таблицам хода роста (табл. П.5).

$$N_{\text{выр}} = \frac{M_{\text{выр}}}{V_{\text{выр}}}. \quad (4.9)$$

Вычислим число оставшихся деревьев после рубки:

$$N_{\text{после}} = N_{\text{до}} - N_{\text{выр}}. \quad (4.10)$$

Их процент от общего числа деревьев составляет:

$$P_N = (N_{\text{выр}} / N_{\text{до}}) \cdot 100\%. \quad (4.11)$$

Для оценки вырубляемой древесины определим объем без коры:

$$V_{\text{б/к}} = M_{\text{б/к}} / N_{\text{выр}}, \quad (4.12)$$

где $N_{\text{выр}}$ – количество вырубленных деревьев.

Средний диаметр вырубляемого дерева (в сантиметрах):

$$D_{\text{выр}} = \sqrt{V_{\text{выр}} D_{\text{до}}^2 / V_{\text{до}}}, \quad (4.13)$$

где $D_{\text{до}}$ – средний диаметр до рубки, см; $V_{\text{до}}$ – средний объем дерева до рубки, м³.

Сумму площадей сечений вырубляемых деревьев:

$$G_{\text{выр}} = 0,785 D_{\text{выр}}^2 \cdot N_{\text{выр}}, \quad (4.14)$$

где $G_{\text{выр}}$ – сумма площадей сечений вырубляемой части древостоя, м².

Определяем среднюю высоту вырубляемого древостоя:

$$H_{\text{выр}} = a + b \cdot D_{\text{выр}} + c \cdot \log D_{\text{выр}}, \quad (4.15)$$

где a, b, c – коэффициенты.

Интенсивность и повторяемость рубок проводится в соответствии с «Правилами рубок в лесах Республики Беларусь». В соответствии с ними рассматриваются и моделируются пять вариантов рубок ухода.

Выходами имитационной модели являются таксационные программы формирования сосновых древостоев по классам бонитета и типам леса.

4.4. Моделирование производительности при различных режимах лесовыращивания

Целенаправленный, хорошо организованный и профессионально выполненный уход за насаждениями является решающим фактором производственного успеха. Предпосылкой такого ухода является квалифицированное планирование, при котором учитываются все цели ведения хозяйства в соответствии с их значимостью, местом произрастания насаждений как экологической основой и структурой насаждений.

Составлять планы можно для отдельных насаждений (индивидуальное планирование) и для крупных массивов (суммарное планирование). Хотя суммарное планирование проще, дешевле и быстрее, очевидно, что при различных условиях произрастания насаждений и комплексной целевой системе полностью оправдывает себя только индивидуальное планирование мероприятий ухода.

Рубки ухода дают возможность вовлечь в оборот и использовать угнетенные и отмирающие деревья, которые иначе были бы потерянными; улучшить структуру насаждений, оставляя нужные породы; улучшить качество пиловочника и фанерного кряжа путем удаления при ранних рубках ухода фаутовых и низкокачественных деревьев. Если соблюдать рекомендуемые хозяйственные мероприятия, то при проведении рубок ухода можно получить около 25–30% общей стоимости леса на корню.

Для этого необходима система ухода как упорядоченная во времени последовательность рубок ухода с правильно установленными сроками начала и окончания, со взаимосвязанными интенсивностью и повторяемостью. Отсюда вытекает важность регламентации рубок с помощью целевой программы, основанной на моделях роста и производительности насаждений. Под программой понимается совокупность таксационных показателей, регламентирующих разреживание древостоя для достижения хозяйственной цели.

Многолетние опыты с рубками ухода показали, что только регулярный уход может обеспечить существенное улучшение качества

насаждений, причем режим рубок должен соответствовать естественному ходу роста древостоев. Это условие обеспечивается программами рубок ухода.

В основу расчета программы формирования древостоя в данном курсовом проекте положена таблица хода роста модального соснового древостоя, разработанная студентами в третьей главе. В программы включены: время первой рубки, сроки проведения последующих приемов, процент выборки и возраст главной рубки, а также размерно-качественная характеристика вырубаемой древесины.

Для работы следует открыть файл электронных таблиц *ZZZ.xls*, и в первые колонки (A, B, C, D) с 4-й строки ввести высчитанные показатели из таблицы хода роста: диаметр, запас, число стволов и общую производительность древостоев (последняя колонка может быть дублированием данных о запасе) (рис. 4.2).

1	A	B	C	D	H	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC
2	Диам	Запас	Числ.	Общ.	%выб	Возр	D	H	N	G	M	F	Zрек	Zпр.	Общ.п	d	h	n	g	m	Выр.зап	кр	сп	мел
3																								
4	7.8	78	4130	78	15	20	7.8	7.6	4130	19.7	78	0.520	3.90	78	5.2	5.3	1408	2.96	11.7	11.7	0.0	0.0	0.0	
5	9.6	93	2980	93	10	25	9.4	9.9	2722	18.8	81	0.435	3.0	3.72	93	5.8	6.5	702	1.88	8.1	19.8	0.0	0.0	12.1
6	11.7	148	2461	148	10	30	11.8	12.8	2020	21.9	123	0.437	9.9	4.93	148	8.3	9.8	406	2.19	12.3	32.1	0.0	0.0	11.6
7	13.7	185	2001	185	10	35	13.6	14.8	1614	23.5	147	0.424	7.4	5.29	185						32.1			
8	15.6	221	1687	221	10	40	14.5	15.7	1614	26.7	183	0.436	7.2	5.53	221	10.3	11.9	324	2.67	18.3	50.4	0.0	0.0	15.6
9	17.4	255	1474	255	10	45	16.4	17.5	1290	27.3	199	0.416	6.8	5.67	255						50.4			
10	19.1	287	1318	287	10	50	17.3	18.3	1290	30.4	231	0.416	6.4	5.74	287						50.4			
11	20.7	316	1187	316	10	55	18.0	18.9	1290	32.9	260	0.419	6.8	5.75	316	13.3	14.4	235	3.29	26.0	76.4	0.0	7.1	14.4
12	22.3	343	1063	343	10	60	19.5	20.1	1054	31.6	261	0.411	6.4	5.72	343						76.4			
13	23.9	369	950	369	10	65	20.0	20.5	1054	33.1	287	0.423	6.2	5.68	369						76.4			
14	25.3	391	860	391	10	70	20.3	20.7	1054	34.2	309	0.436	4.4	5.59	391	15.7	16.1	176	3.42	30.9	107.3	0.0	13.8	10.0
15	26.7	413	780	413	10	75	21.4	21.6	879	31.7	300	0.438	4.4	5.51	413						107.3			
16	28.0	432	713	432	10	80	21.7	21.8	879	32.4	319	0.452	3.8	5.40	432						107.3			
17	29.2	450	660	450	10	85	21.9	21.9	879	33.1	337	0.464	3.6	5.29	450						107.3			
18	30.8	465	620	465	100	90	22.5	22.4	879	35.0	352	0.450	3.0	5.17	465	22.5	19.6	879	34.97	352.2	459.5	56.2	320.3	42.7
19	31.9	480	593	480	100	95	22.9	22.7	879	36.2	367	0.447	3.0	5.05	480						56.2	341.1	106.4	
20	32.8	492	576	492	100	100	23.3	23.0	879	37.5	379	0.440	2.4	4.92	492	23.3	20.0	879	37.49	379.2	486.5	17.9	313.1	42.1
21																					17.9	334.0	105.7	

Рис. 4.2. Вид окна таблицы *ZZZ.xls*

Копирование данных следует проводить как специальную вставку с указанием только значений. Для этого после выделения зоны копирования (соответствующих колонок таксационных показателей) в меню сначала выбирается опция *Копировать*, затем *Специальная вставка*, в появившемся окне ставится знак около позиции *Значения* (рис. 4.3).

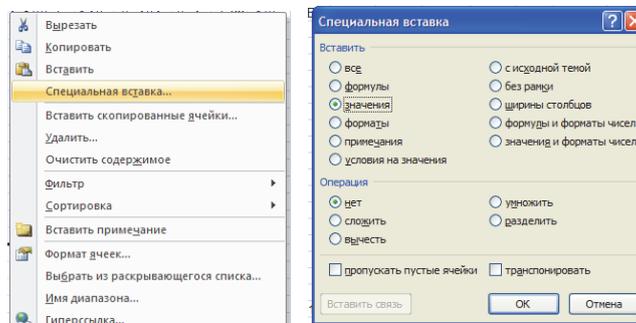


Рис. 4.3. Порядок выбора опций при копировании

После этого при копировании будут использованы только численные значения из разработанной таблицы хода роста. Аналогичная операция производится для четырех столбцов таксационных показателей. При каждом вводе новой информации электронная таблица автоматически пересчитывается и параметры обновляются. По окончании ввода формируется новая программа формирования конкретного древостоя.

На следующем этапе работы следует для предложенных в электронной таблице пяти вариантов, имеющих различные периоды повторяемости рубок ухода, подобрать интенсивность различных приемов рубок ухода с таким расчетом, чтобы достигалась цель, поставленная в начале проектирования. В соответствии с 1-й главой проекта целью могут быть:

- стремление выхода деловой, в частности крупной древесины, за весь период выращивания к максимуму;
- максимальный объем рубок ухода;
- наибольший объем размера главного пользования;
- стремление к максимуму выхода древесины с определенными размерно-качественными показателями.

При этом должно соблюдаться ограничение: видовое число, получаемое в расчетах, должно соответствовать физиологическим особенностям породы и быть не менее 0,4.

В электронной таблице предложено пять вариантов программ лесовыращивания с различными повторяемостями рубок ухода, для каждой из них подбирается оптимальная последовательность интенсивностей хозяйственных мероприятий. Результаты расчетов формируются в таблицы (табл. 4.2–4.3).

Полученные программы формирования древостоев детально анализируются. Проводится сравнение абсолютных характеристик запаса и объемы вырубленной древесины, определяется процентное соотношение этих показателей, строятся соответствующие круговые диаграммы и гистограммы распределения.

Подход к вопросу оптимальности лесовыращивания может осуществляться по двум направлениям:

1) основываясь на максимальной общей производительности, исходя из текущего прироста (это направление развивали E. Assmann, F. Franz [17, 18], по их данным, наибольшая общая производительность наблюдается у древостоев с полнотой 0,80–0,85);

2) исходя из максимальной продуктивности, основываясь на максимальных запасах в данный момент времени (в этом случае полнота насаждений должна быть близка к 1,0).

Таблица 4.2

Программа лесовыращивания. Таксационная характеристика растущей части древостоя

Возраст, лет	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Число стволов, шт.	Сумма площадей сечений, м ²	Запас, м ³	Видовое число	Прирост, м ³		Общая производительность, м ³
							средний	текущий	
20	7,6	7,7	4279	20,0	78	0,589	3,9		78
25	10,2	10,3	2711	22,8	126	0,547	5,0	9,4	126
30	12,5	12,7	1982	25,1	169	0,524	5,6	8,6	169
35	14,5	14,8	1569	26,9	208	0,509	5,9	7,8	208
40	16,3	16,6	1304	28,3	242	0,499	6,1	6,9	242
45	17,9	18,3	1121	29,5	273	0,492	6,1	6,1	273
50	19,3	19,8	987	30,4	300	0,486	6,0	5,4	300
55	20,6	21,2	884	31,2	324	0,482	5,9	4,8	324
60	21,6	22,5	802	31,8	345	0,479	5,7	4,2	345
65	22,5	23,6	735	32,2	363	0,476	5,6	3,6	363
70	23,3	24,8	678	32,6	379	0,474	5,4	3,2	379
75	24,0	25,8	629	32,9	392	0,473	5,2	2,7	392
80	24,6	26,9	585	33,1	404	0,471	5,1	2,4	404
85	25,1	27,9	545	33,3	414	0,470	4,9	2,0	414
90	25,6	28,9	509	33,4	423	0,469	4,7	1,7	423
95	26,0	30,0	474	33,5	430	0,468	4,5	1,4	430
100	26,5	31,1	442	33,5	436	0,468	4,4	1,2	436

Таблица 4.3

Программа лесовыращивания. Основные характеристики вырубаемой части древостоя

Возраст, лет	Интенсив- ность, %	Средний диаметр, см	Средняя высота, м	Число стволов, шт.	Сумма площадей сечений, м ²	Запас, м ³	Сумма пользо- вания, м ³	Выход деловой древесины			
								крупной, м ³	средней, м ³	мелкой, м ³	дело- вой, м ³
20	25	5,1	5,2	2431	5,00	19,6	19,6	0,0	0,0	22,0	22,0
25	16	7,2	8,4	763	3,08	17,0	36,6	0,0	0,0	15,2	15,2
30	15	10,7	12,3	327	2,94	19,8	56,4	0,0	0,0	17,5	17,5
35							56,4				
40	17	13,5	14,5	259	3,69	31,6	88,0	0,0	9,6	24,2	33,8
45							88,0				
50							88,0				
55	22	17,8	17,3	200	4,99	51,9	139,9	0,0	28,9	36,5	65,4
60							139,9				
65							139,9				
70	19	22,9	19,8	95	3,91	45,4	185,3	0,0	30,1	31,3	61,3
75							185,3				
80							185,3				
85							185,3				
90	100	34,2	23,9	204	18,76	237,4	422,7	141,2	56,4	8,3	205,9
Итого после рубки главного пользования в 90 лет								141,2	125,0	155,0	421,1
100	100	34,6	24,0	204	19,23	250,4	435,7	148,0	56,0	8,3	212,2
Итого после рубки главного пользования в 100 лет								148,0	124,5	154,9	427,4

В настоящее время в связи с переходом к рыночным отношениям выгоднее выращивать древесину ориентируясь на высокую общую производительность. Особое внимание необходимо уделять рубкам ухода. Причем следует разделять потенциальную общую производительность, зависящую от качества почвы и условий произрастания, и общую производительность как сумму пользования лесом.

Критерием оптимальности при изучении формирования высокопродуктивных насаждений следует считать максимум древесной массы (максимальный запас) или максимальный прирост. Следовательно, лесохозяйственные исследования могут концентрироваться на представлении трех основных показателей в оптимизации относительной полноты насаждений для любой цели лесовыращивания:

- 1) потенциальный прирост насаждений данных условий местопроизрастания;
- 2) потенциальный прирост свободнорастущих деревьев для этих же условий произрастания;
- 3) оптимальная густота насаждения, при которой полностью используются условия произрастания.

Вторым направлением в имитации рубок ухода является разработка программ, регламентирующих рубки промежуточного пользования для достижения поставленных задач. Программы формирования древостоев составлены по отдельным регионам. Большинство из них предусматривает оптимизацию численности деревьев на единице площади по годам или отдельным периодам жизни насаждения. Они в основном повторяют таблицы хода роста максимально продуктивных насаждений, в то время как очень важно знать повторяемость, процент выборки, выгоды и расходы на протяжении роста древостоев до возраста главной рубки.

В лесохозяйственной науке особое внимание уделяется комплексным эколого-физиологическим подходам к формированию максимально продуктивных лесов. Однако программы рубок ухода за лесом должны быть регламентированы не только лесоводственно-экологическими, но и экономическими и технологическими факторами.

На основе разработанных моделей насаждений составляются программы формирования целевых древостоев. В данном случае эффект ухода в лесах промышленного назначения можно усилить, если задать конкретной хозяйственной целью, например целевым сортиментом. Тогда главная рубка будет основным элементом общей целевой программы.

Размерно-качественные характеристики вырубемого запаса анализируются на основании среднего диаметра вырубемой части древостоя.

На последнем этапе, на основании расчета стоимости леса на корню, из пяти вариантов выбирается оптимальный режим формирования насаждений, который может рекомендоваться в качестве программы лесовыращивания для сосновых древостоев соответствующего класса бонитета.

И. В. Воронин [11] предлагает общую величину эффекта, полученного от рубок ухода, определять по формуле:

$$\text{Э}_\phi = (\text{Ц}_2 - \text{Ц}_1) + (\text{Д}_в - \text{С}), \quad (4.16)$$

где Э_ϕ – величина эффекта от рубки ухода, руб.; Ц_2 – ценность запаса к возрасту спелости в насаждении с систематическим уходом, руб.; Ц_1 – ценность запасов древесины к возрасту спелости в насаждениях без рубок ухода, руб.; $\text{Д}_в$ – валовый доход от реализации древесины, полученной от рубок ухода, руб.; С – себестоимость работ по уходу за лесом, руб.

При регулярных рубках ухода насаждения на 10–15 лет раньше достигают диаметра, на который рассчитан возраст рубки. Сокращение срока выращивания спелых насаждений является важным экономическим показателем, который должен учитываться с другими показателями эффекта только через фактор времени. В результате рубок ухода получают ликвидную товарную продукцию, которую учитывают в отпускных ценах. Ее следует прибавить к величине эффекта от влияния на качество и ценность оставшегося насаждения после ухода за лесом.

Затраты на рубки ухода за лесом поглощают более 15% всех затрат на лесное хозяйство. Основными задачами рубок ухода являются формирование более производительных насаждений с участием ценных пород и получение древесины лучшего качества. Попутно ставится задача использования древесины, которая без рубок ухода идет в отпад и снижает валовую продуктивность насаждений по древесине на 45–50%.

Таким образом, рубки ухода, несмотря на значительное снижение наличного запаса древесины, способствуют улучшению качества оставшегося запаса и прироста за счет улучшения состава насаждений и качества стволов.

А. П. Петров [11] при определении экономической эффективности рубок ухода выделяет категории «ближних» и «дальних» эффектов. «Ближний» эффект определяется исключительно в интересах лесозаготовителей и диктуется стремлением отобрать в рубку качественные стволы, увеличить объем выборки с 1 га, назначить в рубку древостои выгодные, имеющие преимущества в технологическом и транспортном освоении.

«Дальний» эффект в проведении рубок ухода определяется комплексом требований: экономических, лесоводственных и экологических. Суть этого эффекта состоит в максимизации полезностей, которая дает насаждение за оборот рубки и которая складывается из объема вырубленной древесины за весь период выращивания, качественной структуры продукции за весь оборот рубки, использование недревесных компонентов лесных ресурсов, а также степени и качества выполнения лесонасаждениями климаторегулирующих, водоохраных и средозащитных функций.

В зарубежной практике стремление соединить «ближний» и «дальний» эффекты осуществляется методами дисконтирования затрат и результатов, когда последние приводятся ко времени главной рубки при помощи коэффициентов приведения, учитывающих фактор времени.

В данном курсовом проекте в соответствии с формулой (4.16) определяется только прибыль от получаемой древесины. Расчет себестоимости лесопродукции возможен только после изучения дисциплин экономического профиля, изучаемых на старших курсах. Для расчета стоимости используются действующие таксы на древесину (табл. 4.4).

Таблица 4.4

Таксы на древесину основных лесных пород (сосна, лиственница), отпускаемую на корню в 2012 г.

Разряд такс	Такса (рублей за 1 плотный куб. м)			
	Деловая древесина (без коры)			Дровяная древесина и ликвид из кроны (в коре)
	крупная	средняя	мелкая	
Рубки главного пользования				
1	122 060	70 300	31 190	660
2	107 070	61 660	27 360	580
3	88 870	51 180	22 710	480
4	68 530	39 470	17 510	370
5	44 970	25 900	11 490	250
Рубки промежуточного пользования				
1	73 240	42 180	18 710	400
2	64 240	37 000	16 420	350
3	53 320	30 710	13 630	290
4	41 120	23 680	10 510	220
5	26 980	15 540	6 890	150

Перемножив объемы лесопользования на стоимость 1 м³, получают стоимости вырубленной древесины за один прием рубок.

Сложив полученные данные, получают стоимость вырубленной древесины по рубкам промежуточного пользования, добавив таксовую стоимость древесины по рубкам главного пользования, вычисляют стоимость древесины за весь период лесовыращивания при проведении рубок ухода.

Расчет стоимости древесины в насаждениях без проведения рубок ухода производится по исходным значениям таблиц хода роста древостоев на момент возраста спелости: возможный запас древостоя по товарным таблицам распределяется на размерно-качественные категории и умножается на действующие таксы. Как правило, именно общая стоимость древесины, полученной за весь период формирования древостоя с учетом рубки главного пользования, и является главным показателем для выбора оптимальной программы.

После вычисления стоимостных показателей проводится дальнейший анализ результатов. Для наглядного отображения цифровой информации строятся гистограммы и диаграммы распределения древесины по категориям крупности по отдельным вариантам лесовыращивания, а также сравнения стоимостных характеристик вырубленной древесины при различных программах формирования древостоев.

Обязателен текстовый анализ полученных результатов и выводы по написанной главе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключении курсового проекта даются выводы по всем главам и указываются оптимальные решения на каждом этапе построения таблиц хода роста и составляются программы формирования древостоя.

Вначале дается оценка использованного в курсовом проекте экспериментального материала, его достаточность и репрезентативность. Проводится анализ распределения данных по различным таксационным показателям и дается возможное объяснение отклонения экспериментальных и теоретических данных.

Далее делаются выводы по проведенному регрессионному анализу; на основании используемых постулатов и критериев выбираются и обосновываются регрессионные уравнения связи диаметра, высоты, суммы площадей сечений и запаса с возрастом. Формулируется положение о возможности использования полученных функциональных зависимостей для дальнейшего имитационного моделирования хода роста сосновых древостоев и построения соответствующих таблиц.

Проводится анализ построенных авторами таблиц хода роста чистых сосновых древостоев заданного класса бонитета, сравнение полученных данных с материалами литературных источников, дается оценка вычисленных таксационных показателей и возможных отклонений. Указывается на возможность использования материалов построенных таблиц хода роста для моделирования влияния различных хозяйственных мероприятий на рост древостоев и построения программ формирования оптимальной производительности сосновых насаждений.

Анализируются возможности использования имитационного моделирования для решения лесохозяйственных задач и возможные подходы к этому процессу, обосновывается выбор автора программы формирования древостоя и режима рубок ухода в подобранной модели, дается детальное описание интенсивности, повторяемости, дается оптимальный вариант возраста начала рубок ухода и рубки главного пользования.

Указывается возможная стоимость леса на корню при проведении предлагаемой программы формирования соснового древостоя, дается ее сравнение с другими вариантами и без проведения рубок ухода. На основании всего вышеизложенного даются аргументированные рекомендации по проведению рубок ухода в сосновых древостоях определенного вариантом класса бонитета.

Указывается на возможность использования полученной модели рубок ухода:

- для использования в лесном хозяйстве и лесоустройстве при решении практических задач в планировании, назначении и контроле рубок ухода;

- получения информацию об объеме, интенсивности и повторяемости рубок ухода;

- определения текущего и среднего прироста древостоев по запасу, а также общей производительности древостоя;

- предварительной оценки размерно-качественной характеристики вырубаемой древесины;

- вычисления экономической эффективности проектируемых лесохозяйственных мероприятий.

В Заключении анализируются достигнутые результаты и их соответствие цели работы в соответствии с п. 1.1: разработке программы оптимальной производительности древостоев.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица П.1

Таксационные характеристики пробных площадей

Блок	№ п. п.	Тип леса	Возраст, лет	Высота, м	Диаметр, см	Число стволов, шт.	Сумма площадей сечений, м ²	Запас, м ³	Полнога	Бонитет
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1	С. мшист.	10	6,2	6,2	5567	16,7	63	0,90	1a
	2	С. мшист.	14	6,0	5,4	4542	12,7	25	0,80	1
	3	С. черн.	15	6,2	7,1	7366	22,1	93	1,00	1
	4	С. вереск.	15	4,4	5,2	9871	15,0	53	1,00	3
	5	С. вереск.	15	5,6	5,5	5647	13,9	51	0,86	3
	6	С. мшист.	20	8,9	10,5	3956	24,6	139	0,86	1a
	7	С. мшист.	20	7,0	8,7	5263	20,0	99	0,77	1
	8	С. мшист.	20	8,9	10,3	3969	24,6	139	0,93	1
	9	С. мшист.	20	7,0	8,7	5083	19,6	99	0,82	2
	10	С. мшист.	20	7,2	7,0	4470	18,2	76	0,86	2
2	11	С. мшист.	20	7,3	7,0	4370	18,2	76	0,93	2
	12	С. мшист.	20	8,2	7,0	5491	29,0	131	1,00	2
	13	С. вереск.	20	4,9	5,7	6367	12,1	50	0,76	3
	14	С. вереск.	20	5,4	6,3	8174	18,8	62	1,00	3
	15	С. мшист.	25	12,2	13,6	2658	31,1	220	1,00	1a
	16	С. орляк.	25	12,2	13,6	2658	31,1	220	1,00	1a
	17	С. орляк.	25	12,3	8,6	1216	22,8	170	1,00	1a
	18	С. орляк.	25	14,1	14,0	1152	23,5	151	1,04	1a
	19	С. черн.	25	14,3	11,4	1545	24,8	152	0,91	1
	20	С. мшист.	25	11,4	13	2656	27,1	215	0,90	1

Продолжение табл. П.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
3	21	С. мшист.	25	8,5	8,5	2990	17,0	90	0,72	2
	22	С. мшист.	25	8,5	8,5	2942	16,7	76	0,78	2
	23	С. мшист.	25	9,0	8,2	3450	21,9	113	0,97	2
	24	С. вереск.	25	12,5	9,9	1761	21,6	119	0,79	3
	25	С. вереск.	25	6,1	7,2	6676	19,5	84	0,92	3
	26	С. вереск.	25	8,2	9,1	3770	19,9	91	0,76	3
	27	С. черн.	26	11,8	14,0	2551	28,1	217	0,94	1
	28	С. орляк.	30	14,7	14,4	1096	24,5	180	0,87	1a
	29	С. орляк.	30	10,8	13,8	3200	29,4	211	0,96	1
	30	С. мшист.	30	10,1	12,4	2797	22,4	165	0,73	1
4	31	С. черн.	30	9,9	11,0	1900	14,5	89	0,80	2
	32	С. мшист.	30	10,4	9,6	2413	20,5	132	0,77	2
	33	С. мшист.	30	13,4	13,8	1872	26,4	189	0,87	2
	34	С. мшист.	30	13,6	13,8	1824	26,4	189	0,95	2
	35	С. мшист.	30	12,5	13,0	2588	31,7	227	1,00	2
	36	С. мшист.	30	10,4	10,5	4179	35,5	220	1,27	2
	37	С. вереск.	30	11,2	9,6	1950	21,7	132	1,00	3
	38	С. мшист.	35	13,6	18,0	2032	29,5	226	0,88	1a
	39	С. мшист.	35	16,5	17,1	1880	28,8	226	0,79	1a
	40	С. мшист.	35	13,3	13,8	1836	25,5	173	0,77	1
5	41	С. мшист.	35	13,4	13,8	1788	25,2	173	0,87	1
	42	С. мшист.	35	21,8	19,9	858	32,0	300	0,93	1
	43	С. мшист.	35	15,8	16,8	1602	31,4	240	0,96	1
	44	С. мшист.	35	14,0	13,7	2021	31,1	213	1,00	1
	45	С. мшист.	35	11,1	12,7	2573	24,9	164	0,80	2
	46	С. мшист.	35	12,9	12,6	1905	24,9	162	0,80	2
	47	С. мшист.	35	13,0	13,4	1884	25,0	171	0,83	2
	48	С. мшист.	35	11,1	12,7	2600	25,2	164	0,87	2
	49	С. мшист.	35	10,2	12,0	3488	28,5	192	0,94	2
	50	С. мшист.	35	12,7	12,0	3008	32,8	192	1,00	2

Продолжение табл. П.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
6	51	С. мшист.	35	6,4	10,6	9229	29,5	211	1,00	2
	52	С. вереск.	35	9,5	13,2	3317	23,5	150	0,78	3
	53	С. вереск.	35	8,5	12,3	4626	26,4	156	0,90	3
	54	С. кисл.	40	19,2	20,7	932	27,0	282	0,77	1a
	55	С. мшист.	40	16,3	18,1	1544	32,2	228	0,94	1a
	56	С. мшист.	40	20,0	21,1	1564	39,1	385	1,00	1a
	57	С. орляк.	40	20,2	19,1	943	30,2	228	0,89	1a
	58	С. орляк.	40	17,3	18,2	1362	32,0	324	0,95	1a
	59	С. орляк.	40	15,0	17,2	1631	28,8	191	0,88	1
	60	С. черн.	40	18,0	16,5	1030	26,2	187	0,81	1
7	61	С. черн.	40	12,7	15,3	2164	27,4	208	0,84	1
	62	С. черн.	40	12,7	15,3	2241	28,4	208	0,90	1
	63	С. мшист.	40	17,1	19,0	1216	27,9	286	0,83	1
	64	С. мшист.	40	15,2	17,7	1152	21,0	175	0,87	1
	65	С. мшист.	40	17,8	19,0	1307	32,5	286	0,94	1
	66	С. мшист.	40	16,4	16,8	964	31,0	256	0,98	1
	67	С. мшист.	40	17,1	15,3	1002	23,0	176	0,73	2
	68	С. мшист.	40	14,7	14,9	1550	26,3	176	0,81	2
	69	С. мшист.	40	17,6	17,0	1190	29,0	225	0,89	2
	70	С. вереск.	40	12,3	13,3	2403	28,6	197	0,93	3
8	71	С. вереск.	40	12,9	14,5	1906	24,9	180	0,90	3
	72	С. вереск.	40	10,2	11,0	3400	27,7	169	1,00	3
	73	С. черн.	42	18,5	17,3	1057	28,4	252	0,90	1
	74	С. черн.	44	18,6	19,6	1268	33,8	336	1,00	1
	75	С. мшист.	45	23,0	19,6	1380	25,8	284	0,77	1a
	76	С. черн.	45	22,1	21,1	678	26,0	248	0,76	1a
	77	С. черн.	45	17,9	19,5	1511	38,0	347	1,00	1a
	78	С. орляк.	45	19,9	19,1	1163	36,2	347	1,00	1a
	79	С. орляк.	45	18,4	17,8	960	25,5	211	0,78	1
	80	С. орляк.	45	15,7	17,1	1690	32,7	313	1,00	1

Продолжение табл. П.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
9	81	С. черн.	45	13,8	17,8	1706	25,2	215	0,73	1
	82	С. черн.	45	14,2	16,6	1542	24,4	197	0,78	1
	83	С. черн.	45	20,1	19,6	1075	34,1	322	0,87	1
	84	С. черн.	45	16,4	19,0	1490	31,4	295	0,93	1
	85	С. черн.	45	17,5	19,0	1352	32,6	275	0,96	1
	86	С. черн.	45	20,1	19,6	1075	34,1	322	1,00	1
	87	С. черн.	45	17,7	17,4	1382	34,0	216	1,00	1
	88	С. мшист.	45	14,4	18,2	1492	24,3	220	0,73	1
	89	С. мшист.	45	17,0	16,7	1098	24,9	205	0,75	1
	90	С. мшист.	45	21,3	20,1	797	28,4	265	0,82	1
10	91	С. мшист.	45	16,6	17,5	1294	28,0	232	0,88	1
	92	С. мшист.	45	15,5	17,2	1633	30,8	293	0,94	1
	93	С. мшист.	45	16,6	18,0	1757	38,0	346	1,00	1
	94	С. мшист.	45	14,9	15,7	2295	40,0	248	1,00	1
	95	С. мшист.	45	19,4	19,0	944	28,1	254	1,00	1
	96	С. мшист.	45	25,8	20,2	625	24,2	222	0,70	1
	97	С. черн.	45	14,6	14,4	1480	24,8	169	0,78	2
	98	С. мшист.	45	12,3	14,2	1836	21,8	154	0,72	2
	99	С. мшист.	45	13,4	14,4	1618	22,8	162	0,77	2
	100	С. мшист.	45	14,9	13,8	1377	24	170	0,79	2
11	101	С. мшист.	45	16,1	15,4	1316	26,9	201	0,81	2
	102	С. мшист.	45	15,8	17,0	1464	28,7	244	0,82	2
	103	С. мшист.	45	16,3	15,4	1240	25,7	201	0,84	2
	104	С. мшист.	45	18,5	15,3	949	25,5	210	0,88	2
	105	С. мшист.	45	18,0	17,0	1415	36,0	225	1,00	2
	106	С. вереск.	45	12,0	14,5	2743	31,0	192	1,00	3
	107	С. орляк.	46	19,6	19,1	1333	40,2	347	1,00	1a
	108	С. черн.	47	20,9	18,5	870	29,9	278	0,89	1
	109	С. черн.	49	20,6	21,0	1066	35,0	365	1,02	1
	110	С. мшист.	50	32,9	21,4	802	25,5	226	0,73	1a

Продолжение табл. П.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
12	111	С. мшист.	50	21,4	23,1	745	26,8	297	0,80	1a
	112	С. мшист.	50	32,8	24,5	788	25,3	247	0,72	1a
	113	С. черн.	50	22,3	22,3	666	26,0	247	0,76	1a
	114	С. черн.	50	21,4	23,1	818	29,4	297	0,83	1a
	115	С. орляк.	50	22,3	23,6	640	25,0	268	0,72	1a
	116	С. орляк.	50	21,9	24,0	740	27,9	272	0,78	1a
	117	С. орляк.	50	18,4	21,3	1090	29,0	311	0,81	1a
	118	С. орляк.	50	22,2	22,5	788	30,5	308	0,88	1a
	119	С. орляк.	50	30,4	23,1	442	32,1	342	0,89	1a
	120	С. орляк.	50	26,4	24,0	578	31,6	339	0,89	1a
13	121	С. орляк.	50	21,1	22,2	950	33,2	346	0,90	1a
	122	С. орляк.	50	21,9	23,4	902	34,0	367	0,94	1a
	123	С. орляк.	50	21,0	22,3	1124	38,9	346	1,00	1a
	124	С. орляк.	50	18,1	19,2	868	22,3	224	0,70	1
	125	С. черн.	50	21,8	19,8	654	24,4	260	0,71	1
	126	С. черн.	50	17,5	18,5	1044	25,1	228	0,72	1
	127	С. черн.	50	24,8	18,0	501	24,2	201	0,72	1
	128	С. черн.	50	17,5	17,5	1223	31,8	410	0,86	1
	129	С. черн.	50	18,8	19,4	1078	29,9	321	0,88	1
	130	С. черн.	50	16,9	19,9	1378	30,9	274	0,90	1
14	131	С. черн.	50	16,6	20,0	1489	32,2	340	0,94	1
	132	С. черн.	50	19,3	19,0	1255	36,7	312	1,00	1
	133	С. черн.	50	18,2	19,1	1338	34,9	359	1,00	1
	134	С. черн.	50	13,7	18,7	2274	33,5	343	1,00	1
	135	С. черн.	50	19,4	19,0	1256	37,1	312	1,00	1
	136	С. мшист.	50	14,4	18,2	1406	24,4	215	0,73	1
	137	С. мшист.	50	17,4	19,5	1073	25,5	253	0,76	1
	138	С. мшист.	50	23,5	18,5	652	24,6	243	0,74	1
	139	С. мшист.	50	20,8	19,5	992	27,4	256	0,80	1
	140	С. мшист.	50	18,0	18,0	865	25,0	235	0,75	1

Продолжение табл. П.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
15	141	С. мшист.	50	19,8	18,5	1006	31,2	265	0,79	1
	142	С. мшист.	50	17,2	19,6	1262	29,3	313	0,86	1
	143	С. мшист.	50	19,5	18,5	1045	31,2	265	0,89	1
	144	С. мшист.	50	21,0	19,8	901	31,2	290	0,91	1
	145	С. мшист.	50	22,7	19,1	794	32,1	276	0,94	1
	146	С. мшист.	50	17,2	19,3	1420	33,0	296	0,97	1
	147	С. мшист.	50	18,9	19,6	952	26,7	248	0,97	1
	148	С. мшист.	50	16,9	18,6	1708	38,3	340	1,00	1
	149	С. мшист.	50	19,8	18,6	1108	24,1	300	1,00	1
	150	С. черн.	50	15,7	14,8	1133	21,9	167	0,81	2
16	151	С. черн.	50	16,8	17,1	1088	24,1	199	0,80	2
	152	С. мшист.	50	20,0	17,0	726	22,8	183	0,72	2
	153	С. мшист.	50	17,0	16,3	1119	25,4	214	0,79	2
	154	С. мшист.	50	17,4	17,0	1123	26,7	223	0,84	2
	155	С. мшист.	50	15,1	18,7	1765	31,6	275	0,94	2
	156	С. мшист.	50	20,1	18,7	819	26,0	275	0,95	2
	157	С. мшист.	50	15,2	16,3	1797	32,6	255	1,00	2
	158	С. мшист.	50	17,0	17,5	1737	39,4	335	1,00	2
	159	С. мшист.	50	16,5	15,0	1647	35,2	260	1,00	2
	160	С. мшист.	50	17,3	15,8	1413	33,2	265	1,00	2
17	161	С. мшист.	50	19,8	17,0	840	25,8	283	0,70	2
	162	С. мшист.	50	22,7	18,8	832	26,6	305	0,78	2
	163	С. мшист.	50	21,7	15,3	711	25,9	267	0,71	2
	164	С. мшист.	50	21,5	16,0	732	26,3	240	0,73	2
	165	С. вереск.	50	14,5	15,4	1600	26,4	195	0,81	3
	166	С. вереск.	50	15,6	16,8	1667	31,9	260	0,98	3
	167	С. черн.	54	24,4	23,0	783	32,6	358	0,94	1
	168	С. кисл.	55	21,5	20,3	813	25,1	371	0,98	1a
	169	С. мшист.	55	22,4	23,1	683	26,9	267	0,72	1a
	170	С. мшист.	55	19,6	23,0	982	29,6	256	0,83	1a

Продолжение табл. П.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
18	171	С. черн.	55	22,0	23,0	666	25,3	287	0,73	1a
	172	С. черн.	55	20,5	21,0	903	29,8	291	0,86	1a
	173	С. черн.	55	17,8	21,6	1247	31,1	372	0,89	1a
	174	С. черн.	55	26,5	24,1	628	34,6	341	0,96	1a
	175	С. орляк.	55	27,9	24,8	714	25,3	278	0,72	1a
	176	С. орляк.	55	24,0	24,4	584	26,4	305	0,74	1a
	177	С. орляк.	55	20,6	21,9	804	26,8	273	0,79	1a
	178	С. орляк.	55	24,2	25,2	693	32,0	362	0,89	1a
	179	С. орляк.	55	23,9	24,3	713	32,0	378	0,89	1a
	180	С. орляк.	55	22,6	22,6	676	27,1	288	0,91	1a
19	181	С. орляк.	55	27,0	27,1	519	25,0	289	0,70	1a
	182	С. орляк.	55	22,5	22,5	923	36,8	384	1,02	1a
	183	С. орляк.	55	16,8	19,2	1255	27,8	297	0,82	1
	184	С. черн.	55	20,5	22,4	782	25,8	286	0,75	1
	185	С. черн.	55	24,4	22,2	578	27,0	282	0,76	1
	186	С. черн.	55	20,3	20,5	940	30,4	240	0,88	1
	187	С. мшист.	55	23,6	20,2	605	26,0	247	0,76	1
	188	С. мшист.	55	18,9	19,0	1041	29,2	265	0,87	1
	189	С. мшист.	55	20,6	20,8	976	32,5	261	0,94	1
	190	С. мшист.	55	16,0	16,9	1282	26,0	212	0,70	2
20	191	С. мшист.	55	18,1	19,0	1014	26,1	248	0,76	2
	192	С. мшист.	55	16,0	16,9	1293	26,0	212	0,81	2
	193	С. мшист.	55	17,8	16,2	1230	30,6	244	0,94	2
	194	С. мшист.	55	17,2	19,2	1429	33,2	300	0,96	2
	195	С. мшист.	55	17,8	18,0	984	29,5	268	0,84	2
	196	С. мшист.	55	18,9	16,4	802	25,5	208	0,70	2
	197	С. вереск.	55	19,8	18,4	838	25,8	225	0,76	3
	198	С. вереск.	55	17,1	15,7	2086	28,1	251	0,88	3
	199	С. вереск.	55	17,4	18,3	1140	27,1	180	0,78	3
	200	С. вереск.	55	16,2	16,3	2520	19,5	251	0,91	3

Продолжение табл. П.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
21	201	С. вереск.	55	18,4	18,1	997	26,5	229	0,76	3
	202	С. кисл.	60	22,5	22,7	871	34,7	362	0,99	1a
	203	С. мшист.	60	28,8	25,0	569	29,0	280	0,73	1a
	204	С. орляк.	60	26,3	26,7	514	27,9	320	0,76	1a
	205	С. орляк.	60	25,0	26,5	631	31,0	410	0,85	1a
	206	С. орляк.	60	26,7	27,6	586	32,8	436	0,86	1a
	207	С. орляк.	60	26,8	27,6	631	35,6	446	0,95	1a
	208	С. орляк.	60	24,3	25,8	928	43,1	399	1,00	1a
	209	С. черн.	60	22,3	22,4	760	29,7	288	0,84	1
	210	С. черн.	60	20,0	21,0	934	29,2	303	0,85	1
22	211	С. черн.	60	18,8	20,5	1140	31,6	306	0,92	1
	212	С. мшист.	60	23,3	21,5	622	26,5	265	0,77	1
	213	С. мшист.	60	23,5	21,5	623	27,0	265	0,82	1
	214	С. мшист.	60	23,1	21,7	697	29,2	286	0,82	1
	215	С. мшист.	60	26,2	23,6	579	31,2	333	0,83	1
	216	С. мшист.	60	21,8	21,6	803	30,1	306	0,87	1
	217	С. мшист.	60	21,2	20,0	845	29,8	235	0,88	1
	218	С. мшист.	60	17,4	18,7	1135	27,0	240	0,82	2
	219	С. мшист.	60	21,0	18,4	832	28,8	254	0,86	2
	220	С. мшист.	60	24,1	20,0	775	35,4	269	1,00	2
23	221	С. мшист.	60	19,6	18,4	1151	34,7	305	1,00	2
	222	С. мшист.	60	17,9	18,7	906	23,8	223	0,72	2
	223	С. мшист.	60	19,9	18,0	963	25,3	234	0,73	2
	224	С. мшист.	60	25,8	21,2	861	27,2	267	0,84	2
	225	С. мшист.	60	25,8	20,2	861	25,3	251	0,78	2
	226	С. мшист.	60	16,9	19,7	1386	31,1	285	0,74	2
	227	С. вереск.	60	16,0	19,2	1443	29,0	224	0,82	3
	228	С. вереск.	60	18,9	16,9	952	26,5	216	0,82	3
	229	С. черн.	65	27,6	27,3	484	28,9	466	0,78	1a
	230	С. черн.	65	26,0	25,7	565	30,0	331	0,83	1a

Продолжение табл. П.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
24	231	С. орляк.	65	28,7	28,3	463	28,2	354	0,74	1a
	232	С. орляк.	65	26,5	27,3	551	30,4	431	0,80	1a
	233	С. орляк.	65	27,1	26,8	590	34,1	416	0,92	1a
	234	С. орляк.	65	27,4	28,0	543	28,1	349	0,72	1a
	235	С. орляк.	65	26,8	24,2	543	30,6	393	0,85	1
	236	С. черн.	65	23,2	21,9	759	32,1	332	0,86	1
	237	С. черн.	65	18,9	21,6	1095	30,7	307	0,86	1
	238	С. черн.	65	20,0	21,0	1003	31,5	314	0,90	1
	239	С. мшист.	65	21,8	20,4	895	33,4	299	0,95	1
	240	С. мшист.	65	24,7	23,0	660	31,6	325	0,74	1
25	241	С. мшист.	65	26,4	23,3	521	28,5	303	0,78	1
	242	С. мшист.	65	21,6	22,4	747	27,5	292	0,79	1
	243	С. мшист.	65	26,6	23,3	524	29,1	303	0,82	1
	244	С. мшист.	65	23,5	22,5	772	33,6	345	0,83	1
	245	С. мшист.	65	23,5	22,5	697	30,2	315	0,86	1
	246	С. мшист.	65	23,8	23,7	726	32,3	337	0,87	1
	247	С. мшист.	65	20,2	22,5	972	31,1	330	0,88	1
	248	С. мшист.	65	20,2	22,5	974	31,2	331	0,88	1
	249	С. мшист.	65	24,6	23,0	663	31,5	325	0,89	1
	250	С. мшист.	65	23,3	22,5	793	33,8	343	0,94	1
26	251	С. мшист.	65	21,8	20,8	630	24,0	262	0,70	1
	252	С. черн.	65	19,7	18,6	921	28,1	254	0,83	2
	253	С. мшист.	65	19,8	20,0	895	27,6	259	0,82	2
	254	С. мшист.	65	23,2	20,0	674	28,5	269	0,82	2
	255	С. мшист.	65	19,1	17,3	985	28,2	236	0,86	2
	256	С. мшист.	70	27,7	26,5	556	34,1	396	0,85	1a
	257	С. орляк.	70	27,4	28,2	525	31,0	420	0,80	1a
	258	С. орляк.	70	27,3	27,6	579	33,9	439	0,90	1a
	259	С. орляк.	70	37,6	28,1	315	34,9	420	0,94	1a
	260	С. орляк.	70	34,2	31,8	416	38,2	536	1,00	1a

Продолжение табл. П.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
27	261	С. орляк.	70	29,7	29,5	370	26,6	377	0,70	1a
	262	С. орляк.	70	23,2	24,1	767	32,4	346	0,90	1
	263	С. черн.	70	25,9	24,0	520	27,2	292	0,75	1
	264	С. черн.	70	28,5	24,4	438	27,9	316	0,78	1
	265	С. черн.	70	27,6	25,0	498	29,8	354	0,83	1
	266	С. черн.	70	29,5	24,1	446	30,5	355	0,83	1
	267	С. черн.	70	28,1	23,6	381	31,3	330	0,87	1
	268	С. черн.	70	31,0	25,5	471	35,5	414	1,00	1
	269	С. мшист.	70	23,5	22,9	584	25,3	257	0,72	1
	270	С. мшист.	70	25,6	24,3	427	26,4	319	0,73	1
28	271	С. мшист.	70	22,7	24,9	675	27,3	302	0,78	1
	272	С. мшист.	70	25,7	23,7	555	28,8	326	0,79	1
	273	С. мшист.	70	25,6	21,8	550	28,2	277	0,80	1
	274	С. мшист.	70	26,5	25,2	637	35,2	406	0,92	1
	275	С. мшист.	70	25,3	24,3	536	25,9	287	0,72	1
	276	С. мшист.	70	23,6	23,0	549	26,0	300	0,70	1
	277	С. черн.	70	23,2	21,0	710	30,0	292	0,86	2
	278	С. мшист.	70	24,3	22,8	517	25,0	263	0,71	2
	279	С. мшист.	70	21,9	19,4	562	25,2	299	0,73	2
	280	С. мшист.	70	24,4	22,8	526	26,1	263	0,72	2
29	281	С. мшист.	70	25,8	20,7	534	27,2	265	0,77	2
	282	С. мшист.	70	21,4	20,1	637	24,9	256	0,70	2
	283	С. мшист.	70	22,8	21,1	573	24,4	234	0,70	2
	284	С. мшист.	70	28,2	21,8	506	24,1	240	0,70	2
	285	С. мшист.	70	25,0	20,3	526	25,8	251	0,76	2
	286	С. мшист.	70	28,6	22,4	441	28,3	289	0,88	2
	287	С. мшист.	70	20,3	19,4	974	31,5	285	0,93	2
	288	С. мшист.	70	21,6	20,2	884	32,4	320	0,94	2
	289	С. мшист.	70	26,0	20,7	669	35,5	425	1,00	2
	290	С. вереск.	70	23,0	24,0	683	28,3	336	0,78	3

Продолжение табл. П.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
30	291	С. вереск.	70	24,6	18,2	528	25,5	230	0,75	3
	292	С. черн.	75	34,9	27,5	342	32,7	467	0,88	1a
	293	С. орляк.	75	29,2	29,5	517	34,5	440	0,91	1a
	294	С. орляк.	75	24,7	23,6	663	31,8	341	0,89	1
	295	С. орляк.	75	20,1	22,0	1138	36,1	363	1,00	1
	296	С. черн.	75	25,2	26,1	537	26,8	377	0,73	1
	297	С. черн.	75	24,7	23,7	583	27,9	368	0,78	1
	298	С. черн.	75	24,3	23,2	633	29,3	310	0,80	1
	299	С. черн.	75	28,0	23,6	517	32,0	338	0,89	1
	300	С. черн.	75	25,9	24,9	583	28,2	362	0,82	1
31	301	С. мшист.	75	25,1	24,1	524	25,9	281	0,72	1
	302	С. мшист.	75	23,5	24,4	697	30,2	340	0,84	1
	303	С. мшист.	75	31,2	23,8	434	33,2	308	0,92	1
	304	С. черн.	75	21,1	19,6	947	29,9	283	0,87	2
	305	С. черн.	75	21,1	19,8	687	24,0	225	0,71	2
	306	С. черн.	75	22,9	22,0	783	32,3	331	0,93	2
	307	С. мшист.	75	21,3	22,0	797	28,4	254	0,70	2
	308	С. мшист.	75	25,2	24,1	521	26,0	281	0,72	2
	309	С. мшист.	75	23,1	20,6	653	27,5	270	0,76	2
	310	С. мшист.	75	22,5	21,5	654	26,0	251	0,76	2
32	311	С. мшист.	75	26,1	20,6	465	24,9	242	0,76	2
	312	С. мшист.	75	26,8	22,5	534	30,1	312	0,79	2
	313	С. мшист.	75	24,6	22,4	616	29,3	256	0,82	2
	314	С. мшист.	75	30,0	21,6	399	28,2	284	0,82	2
	315	С. мшист.	75	26,5	24,5	537	29,6	324	0,82	2
	316	С. мшист.	75	21,0	20,9	885	30,7	303	0,86	2
	317	С. мшист.	75	21,7	20,2	887	32,8	320	0,95	2
	318	С. мшист.	75	20,7	21,8	990	33,3	310	0,95	2
	319	С. мшист.	75	21,4	20,1	1035	37,2	255	1,00	2
	320	С. вереск.	75	23,0	21,3	602	25,0	247	0,76	3

Продолжение табл. П.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
33	321	С. вереск.	75	22,6	22,3	693	27,8	374	0,79	3
	322	С. вереск.	75	22,8	20,3	830	33,9	242	1,00	3
	323	С. вереск.	75	16,7	17,4	1124	25,2	215	0,75	3
	324	С. вереск.	75	25,4	21,2	660	33,5	330	0,80	3
	325	С. черн.	77	24,4	23,8	674	31,3	358	0,87	1
	326	С. черн.	79	28,4	24,4	450	28,1	336	0,79	1
	327	С. орляк.	80	33,8	29,6	290	29,2	381	0,76	1a
	328	С. орляк.	80	33,0	30,2	426	36,4	517	0,95	1a
	329	С. орляк.	80	33,5	30,4	248	33,2	570	1,00	1a
	330	С. орляк.	80	33,8	28,7	238	27,3	364	0,71	1a
34	331	С. орляк.	80	23,2	24,4	686	29,0	395	0,76	1
	332	С. орляк.	80	26,7	24,1	613	34,3	380	0,89	1
	333	С. черн.	80	24,7	24	626	29,9	312	0,82	1
	334	С. черн.	80	27,6	24,9	528	31,1	375	0,86	1
	335	С. мшист.	80	26,0	26,7	570	30,3	349	0,75	1
	336	С. мшист.	80	22,8	24,4	701	28,6	392	0,79	1
	337	С. мшист.	80	26,6	23,7	547	30,4	324	0,86	1
	338	С. мшист.	80	27,3	26	580	34,0	389	0,92	1
	339	С. мшист.	80	29,7	25,6	364	25,2	291	0,70	1
	340	С. мшист.	80	23,0	24,9	542	23,5	292	0,71	1
35	341	С. мшист.	80	37,0	26,7	306	26,2	340	0,80	1
	342	С. черн.	80	25,4	23,7	583	29,6	317	0,83	2
	343	С. черн.	80	28,2	22,4	405	25,8	256	0,73	2
	344	С. черн.	80	17,7	20,8	1000	24,6	254	0,72	2
	345	С. черн.	80	19,5	21	680	24,4	244	0,70	2
	346	С. мшист.	80	25,3	21,6	500	25,3	246	0,71	2
	347	С. мшист.	80	23,0	23,1	622	25,7	270	0,72	2
	348	С. мшист.	80	23,0	21	619	25,7	270	0,76	2
	349	С. мшист.	80	25,3	21,8	728	28,4	287	0,78	2
	350	С. мшист.	80	30,5	22,7	891	28,6	391	0,78	2

Продолжение табл. П.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
36	351	С. мшист.	80	28,7	23,6	449	29,0	315	0,78	2
	352	С. мшист.	80	31,2	22,7	391	29,9	307	0,84	2
	353	С. мшист.	80	27,2	22,5	480	30,0	310	0,85	2
	354	С. мшист.	80	25,2	22,2	617	30,8	316	0,85	2
	355	С. мшист.	80	22,8	22,0	779	31,8	320	0,91	2
	356	С. мшист.	80	18,5	17,4	577	24,9	254	0,70	2
	357	С. мшист.	80	28,6	24,8	364	25,2	265	0,71	2
	358	С. орляк.	85	21,4	32,2	364	28,4	403	0,74	1a
	359	С. орляк.	85	25,6	26,1	529	27,2	389	0,74	1
	360	С. орляк.	85	27,6	26,4	470	28,1	321	0,76	1
37	361	С. черн.	85	28,4	25,7	500	31,3	381	0,86	1
	362	С. черн.	85	27,7	25,4	553	33,3	374	0,91	1
	363	С. черн.	85	27,2	25,5	579	33,6	476	0,92	1
	364	С. черн.	85	26,3	27,0	586	32,6	275	0,96	1
	365	С. мшист.	85	34,7	24,9	292	27,6	295	0,74	1
	366	С. мшист.	85	37,6	27,1	307	36,3	413	0,90	1
	367	С. черн.	85	28,8	22,3	404	26,1	269	0,74	2
	368	С. мшист.	85	18,6	17,4	572	24,8	263	0,70	2
	369	С. мшист.	85	26,6	24,0	488	27,1	361	0,72	2
	370	С. мшист.	85	24,1	21,9	555	25,3	281	0,72	2
38	371	С. мшист.	85	26,8	22,8	493	27,8	291	0,79	2
	372	С. мшист.	85	26,8	22,8	493	27,8	291	0,79	2
	373	С. мшист.	85	25,2	23,5	630	31,4	342	0,82	2
	374	С. мшист.	85	33,9	24,0	382	28,7	272	0,70	2
	375	С. вереск.	85	20,1	18,9	850	27,1	248	0,79	3
	376	С. орляк.	90	38,2	30,0	305	30,0	406	0,75	1a
	377	С. орляк.	90	27,8	33,0	495	30,1	410	0,79	1a
	378	С. кисл.	90	37,7	28,6	255	28,5	667	0,76	1
	379	С. черн.	90	28,4	26,5	449	28,4	281	0,78	1
	380	С. черн.	90	30,0	26,3	456	31,7	393	0,86	1

Продолжение табл. П.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
39	381	С. черн.	90	32,2	27,7	394	32,1	390	0,89	1
	382	С. мшист.	90	29,6	28,5	425	29,2	352	0,78	1
	383	С. мшист.	90	28,2	29,4	604	37,7	515	1,00	1
	384	С. черн.	90	25,2	21,8	492	24,4	248	0,70	2
	385	С. черн.	90	25,3	21,8	501	24,5	252	0,71	2
	386	С. мшист.	90	27,4	23,0	494	29,0	332	0,75	2
	387	С. мшист.	90	26,2	24,4	445	28,3	373	0,78	2
	388	С. мшист.	90	25,6	23,2	552	28,4	311	0,78	2
	389	С. мшист.	90	24,1	22,9	640	29,2	280	0,80	2
	390	С. мшист.	90	25,4	23,4	1192	24,9	238	0,81	2
40	391	С. мшист.	90	26,6	23,0	515	28,6	352	0,83	2
	392	С. мшист.	90	26,5	23,4	540	29,8	311	0,83	2
	393	С. мшист.	90	25,5	21,8	507	25,9	254	0,83	2
	394	С. мшист.	90	31,7	24,2	418	33,0	377	0,84	2
	395	С. мшист.	90	25,7	24,3	677	35,1	385	0,97	2
	396	С. вереск.	90	29,8	26,4	488	33,9	429	0,93	3
	397	С. черн.	92	33,3	25,6	358	31,0	376	0,85	1
	398	С. черн.	95	32,1	26,0	397	32,2	377	0,81	1
	399	С. черн.	95	32,5	15,7	392	32,5	397	0,85	1
	400	С. черн.	95	29,8	26,3	473	33,0	379	0,92	1
41	401	С. черн.	95	33,3	29,1	424	36,9	469	0,98	1
	402	С. черн.	95	24,8	23,0	660	31,9	332	0,84	2
	403	С. черн.	95	28,2	23,0	504	31,5	360	0,89	2
	404	С. мшист.	95	29,9	25,7	390	27,4	321	0,78	2
	405	С. орляк.	100	40,7	33,0	216	28,0	395	0,74	1a
	406	С. орляк.	100	38,2	33,4	215	27,6	387	0,72	1a
	407	С. кисл.	100	41,1	27,9	213	28,3	467	0,76	1
	408	С. орляк.	100	37,0	30,0	246	26,4	316	0,70	1
	409	С. черн.	100	33,3	26,5	309	26,9	310	0,73	1
	410	С. черн.	100	32,2	27,0	344	28,0	340	0,78	1

Окончание табл. П.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
42	411	С. черн.	100	29,8	28,3	427	29,8	333	0,79	1
	412	С. мшист.	100	32,4	23,8	326	26,0	369	0,72	1
	413	С. мшист.	100	27,5	24,5	430	25,5	296	0,71	2
	414	С. мшист.	100	33,5	25,1	315	27,8	310	0,78	2
	415	С. мшист.	100	31,0	26,0	407	30,7	360	0,83	2
	416	С. мшист.	100	32,7	25,5	417	32,9	365	0,90	2
	417	С. мшист.	100	34,1	26,1	370	33,6	415	0,90	2
	418	С. мшист.	100	28,5	26,3	388	25,4	291	0,70	2
	419	С. мшист.	104	33,2	27,8	482	37,1	473	1,00	2
	420	С. черн.	105	31,8	27,2	483	38,4	463	1,00	1
43	421	С. черн.	105	33,3	27,7	425	37,0	471	1,00	1
	422	С. мшист.	105	29,0	24,6	389	25,7	280	0,72	2
	423	С. мшист.	105	35,5	26,5	338	33,1	413	0,88	2
	424	С. кисл.	110	38,7	28,4	284	33,4	372	0,89	1
	425	С. черн.	110	46,4	30,7	203	34,6	566	0,91	1
	426	С. мшист.	110	34,3	25,1	292	27,0	384	0,76	2
	427	С. мшист.	110	30,7	24,9	372	27,5	318	0,78	2
	428	С. черн.	115	35,2	29,7	283	27,5	386	0,74	1
	429	С. черн.	115	33,2	29,4	395	34,2	472	0,89	1
	430	С. орляк.	120	37,0	30,1	246	26,5	317	0,70	1а
44	431	С. вереск.	120	31,8	26,0	363	28,8	339	0,80	3

Таблица П.2

Товарные таблицы основных древесных пород БССР. Сосна. 1 класс товарности

Средние показатели		Деловая древесина, %				Дрова, %	Ликвид, %	Отходы, %
Диаметр, см	Высота, м	Крупная	Средняя	Мелкая	Итого			
16	13	–	30	51	81	8	89	11
	17	–	35	46	81	8	89	11
20	21	–	47	35	82	7	89	11
	15	5	51	26	82	7	89	11
	20	5	55	23	83	6	89	11
24	25	5	60	19	84	5	89	11
	17	15	55	14	84	4	88	12
	22	15	57	12	84	4	88	12
	27	15	58	11	84	4	88	12
28	18	29	48	7	84	4	88	12
	23	30	48	6	84	4	88	12
	29	30	489	6	84	4	88	12
32	19	42	39	4	85	3	88	12
	24	44	38	3	85	3	88	12
	30	45	37	3	85	3	88	12
36	19	48	34	3	85	3	88	12
	25	54	29	2	85	3	88	12
	32	56	28	1	85	3	88	12
40	19	54	30	2	86	3	89	11
	26	62	23	1	86	3	89	11
	33	65	21	1	87	2	89	11

Таблица П.3

Ход роста максимально продуктивных сосновых культур БССР (Ф. П. Моисенко, В. Ф. Багинский)

Возраст, лет	Оставляемая часть древостоя				Выбираемая часть				Общая продуктивность					
	Число стволов, шт.	Средние показатели		Сумма площадей сечения, м ²	Оптимальная полнота, 0,01	Видовое число 0,001	Запас стволовой древесины м ³	Число стволов, шт	Сырорастущая, м ³	Сухостойная, м ³	Суммарный запас, м ³	Прирост, м ³		
		Диаметр, см	Высота, м									средний	текущий	
I класс бонитета														
15	4750	7,2	7,6	19,5	95	559	83	1060	4	—	4	86	5,7	10,9
20	2370	11,1	10,8	23,3	84	510	126	2380	26	—	30	158	7,9	14,2
30	1120	17,8	15,6	27,8	77	474	206	1259	72	8	110	316	10,5	15,8
40	760	23,3	19,2	32,5	80	458	286	360	60	8	178	464	11,6	14,8
50	600	27,5	22,0	35,6	84	450	354	160	46	10	234	588	11,8	12,4
60	530	30,5	24,4	38,8	88	444	420	70	20	15	269	689	11,5	10,1
70	480	32,9	26,2	40,9	92	441	473	50	10	20	299	772	11,0	8,3
80	440	35,5	27,7	43,5	96	438	528	40	—	21	320	848	10,6	7,6
90	400	38,2	28,7	45,8	99	436	573	40	—	27	347	920	10,2	7,2
100	370	40,3	29,7	47,2	100	435	609	30	—	33	380	989	9,9	6,9

Окончание табл. П.3

Возраст, лет	Оставляемая часть древостоя						Выбираемая часть				Общая продуктивность			
	Число стволов, шт.	Средние показатели		Сумма площадей сечения, м ²	Оптимальная полнота, 0,01	Видовое число 0,001	Запас ствольной древесины м ³	Число стволов, шт	Сыростущая, м ³	Сухостойная, м ³	Суммарный запас, м ³	Запас, м ³	Прирост, м ³	
		Диаметр, см	Высота, м										средний	текущий
II класс бонитета														
15	7510	5,1	6,0	15,5	100	605	56	-	-	-	-	56	3,7	8,8
20	3880	8,0	8,6	19,5	84	540	90	3630	19	-	19	109	5,4	10,6
30	1780	13,7	12,8	26,1	80	492	164	2100	50	3	72	236	7,9	12,7
40	1040	19,0	16,1	29,5	79	471	224	740	58	3	133	357	8,9	12,2
50	730	23,4	18,7	31,4	79	460	270	310	53	3	189	459	9,2	10,2
60	650	26,6	20,6	36,0	87	454	337	80	10	3	202	539	9,0	8,0
70	590	29,1	22,2	39,9	92	449	398	60	-	5	207	605	8,6	6,6
80	550	31,5	23,5	43,0	98	446	451	40	-	6	213	664	8,3	5,9
90	510	33,4	24,8	44,7	100	443	491	40	-	12	225	716	8,0	5,2
100	470	35,1	26,0	45,4	103	440	521	40	-	19	244	765	7,7	4,9

Таблица П.4

Ход роста полных сосновых культур БССР (Ф. П. Моисенко, В. Ф. Багинский)

Возраст, лет	Оставляемая часть древостоя				Изменение запаса, м ³		Отпад			Общая продуктивность				
	Число стволов, шт	Средние		Сумма площадей сечения, м ²	Видовое число 0,001	Запас ствольной древесины, м ³	среднее	текущее	Число стволов, шт.	Запас, м ³	Сумма отпада, м ³	Запас, м ³	Прирост, м ³	
		Диаметр, см	Высота, м										средний	текущий
I класс бонитета														
15	5810	6,7	7,4	20,5	573	87	5,8	—	—	—	—	87	5,8	10,8
20	4400	9,0	10,4	28,0	525	152	7,7	13,2	1410	5	5	157	7,9	13,9
30	2670	13,2	15,1	36,4	489	269	9,0	11,7	1730	33	38	307	10,2	15,0
40	1810	16,9	18,6	40,5	474	357	8,9	8,8	860	53	91	448	11,2	14,1
50	1340	20,2	21,2	42,8	466	423	8,5	6,6	470	54	145	564	11,4	12,0
60	1040	23,3	23,3	44,3	460	475	7,9	5,2	300	46	191	666	11,1	9,8
70	850	26,1	24,9	45,3	457	515	7,4	4,0	190	43	234	749	10,7	8,3
80	720	28,6	26,3	46,1	453	549	6,9	3,7	130	42	276	825	10,8	7,6
90	620	31,0	27,5	46,6	452	579	6,5	3,1	100	42	318	897	10,0	7,2
100	560	32,9	28,6	47,2	451	609	6,1	2,6	60	39	357	966	9,7	6,9

Окончание табл. П.4

Возраст, лет	Оставляемая часть древостоя					Изменение запаса, м ³		Отпад			Общая продуктивность			
	Число стволов, шт	Средние		Сумма площадей сечения, м ²	Видовое число 0,001	Запас стволовой древесины, м ³	среднее	текущее	Число стволов, шт.	Запас, м ³	Сумма отпада, м ³	Запас, м ³	Прирост, м ³	
		Диаметр, см	Высота, м										средний	текущий
II класс бонитета														
15	7510	5,1	5,8	15,5	619	56	3,7	10,2	—	—	—	56	3,7	8,8
20	5630	7,2	8,4	23,1	553	107	5,4	9,7	1880	1	1	108	5,4	10,4
30	3460	10,9	12,5	32,2	506	204	6,8	7,7	2170	26	27	231	7,7	12,3
40	2340	14,1	15,6	37,0	486	281	7,0	5,8	1120	34	61	342	8,6	11,1
50	1760	17,0	17,9	39,0	476	339	6,8	4,8	580	40	101	440	8,8	9,8
60	1360	19,8	19,8	41,6	470	387	6,5	4,0	400	30	131	518	8,6	7,8
70	1100	22,3	21,4	42,9	465	427	6,1	3,5	260	26	157	584	8,3	6,6
80	920	24,6	22,8	43,9	462	462	5,8	3,1	180	24	181	643	8,0	5,9
90	800	26,6	24,0	44,7	459	493	5,5	2,8	120	21	202	695	7,7	5,2
100	720	28,3	25,1	45,4	457	521	5,2	—	80	21	223	744	7,4	4,9

Таблица П.5

Динамика таксационных показателей сосновых древостоев БССР (В. Ф. Багинский)

Возраст, лет	Полнота	Средние показатели		Число стволов, шт.	Сумма площадей сечения, м ²	Видовое число	Запас стволовой древесины, м ³	Изменение запаса, м ³	
		Высота, м	Диаметр, см					среднее	текущее
I класс бонитета (сосняки орляковые, мшистые и черничные)									
20	0,77	8,5	9,1	2737	17,8	0,543	82	4,1	-
30	0,74	13,7	13,7	1452	21,4	0,502	147	4,9	6,5
40	0,72	17,9	17,9	946	23,8	0,482	198	5,0	5,1
50	0,70	21,8	21,8	678	25,3	0,472	242	4,8	4,4
60	0,68	25,4	25,4	521	26,4	0,465	280	4,7	3,8
70	0,65	28,6	28,6	417	26,8	0,460	308	4,4	2,8
80	0,63	31,6	31,6	344	27,0	0,456	331	4,1	2,3
90	0,60	34,3	34,3	290	26,8	0,454	348	3,9	1,7
100	0,58	36,7	36,7	251	26,5	0,452	359	3,6	1,1
110	0,55	38,8	38,8	219	25,9	0,450	365	3,3	0,6
120	0,53	40,7	40,7	194	25,3	0,448	366	3,1	0,1
II класс бонитета (сосняки мшистые, брусничные и черничные)									
20	0,77	8,3	7,2	3979	16,2	0,562	76	3,8	-
30	0,74	12,0	10,9	2122	19,8	0,515	122	4,0	4,6
40	0,72	15,1	14,4	1351	22,0	0,493	164	4,0	4,3
50	0,70	17,7	17,7	955	23,6	0,481	200	4,0	3,6
60	0,68	20,0	20,8	718	24,4	0,476	231	3,8	3,1
70	0,66	21,9	23,8	560	24,5	0,467	255	3,6	2,4
80	0,63	23,6	26,6	450	25,0	0,463	273	3,4	1,8
90	0,60	25,1	29,2	369	24,7	0,460	285	3,2	1,2
100	0,57	26,4	31,7	309	24,4	0,457	294	2,9	0,9
110	0,55	27,6	34,0	264	24,0	0,455	301	2,7	0,7
120	0,53	28,6	36,2	229	23,6	0,454	306	2,5	0,5

Таблица П.6

Ход роста нормальных сосновых древостоев (Ф. П. Моисенко, В. Ф. Багинский)

Возраст, лет	Наличный древостой										Отпад				Общая производительность	
	Средние показатели		Число стволов, шт.	Сумма площадей сечения, м ²	Видовое число	Запас ствольной дрв., м ³	Изменение запаса, м ³		Число стволов, шт.	Запас, м ³	Суммарный запас отпада, м ³	Запас, м ³	Прирост, м ³ /год			
	Высота, м	Диаметр, см					среднее	текущее					средний	текущий		
I класс бонитета (сосняки орляковые, мшистые и черничные)																
20	9,3	7,8	4772	22,8	0,546	116	5,8	—	—	—	116	5,8	—			
30	13,2	11,2	2862	28,2	0,505	188	6,3	7,2	1910	47	235	7,8	11,9			
40	16,7	14,5	1962	32,4	0,485	262	6,6	7,4	900	49	358	8,9	12,3			
50	19,7	17,6	1467	35,7	0,474	333	6,7	7,1	495	50	479	9,6	12,1			
60	22,3	20,6	1149	38,3	0,466	398	6,6	6,5	318	50	594	9,9	11,5			
70	24,4	23,4	942	40,5	0,461	456	6,5	5,8	207	48	700	10,0	10,6			
80	26,3	26,0	797	42,3	0,458	509	6,4	5,3	145	43	796	9,9	9,6			
90	27,8	28,4	691	43,8	0,455	554	6,2	4,5	106	41	883	9,8	8,6			
100	29,0	30,7	609	45,1	0,453	592	5,9	3,8	82	39	959	9,6	7,7			
110	30,1	32,9	541	46,0	0,451	624	5,7	3,2	68	37	1028	9,3	6,9			
120	30,9	34,8	491	46,7	0,450	649	5,4	2,5	50	36	1089	9,1	6,1			

Окончание табл. П. 6

Возраст, лет	Наличный древостой										Отпад				Общая производительность			
	Средние показатели		Число стволов, шт.	Сумма площадей сечения, м ²	Видовое число	Запас ствольной древесины, м ³	Изменение запаса, м ³		Число стволов, шт.	Запас, м ³	Суммарный запас отпада, м ³	Запас, м ³	Прирост, м ³ /год					
	Высота, м	Диаметр, см					среднее	текущее					средний	текущий				
II класс бонитета (сосны мшистые, брусничные и черничные)																		
20	8,3	5,7	8269	21,1	0,562	98	4,9	—	—	—	98	4,9	—	—				
30	11,4	8,4	4674	25,9	0,520	154	5,1	5,6	3595	45	199	6,6	10,1	10,1				
40	14,4	11,3	2961	29,7	0,497	212	5,3	5,8	1713	51	308	7,7	10,9	10,9				
50	17,1	14,4	2014	32,8	0,483	271	5,4	5,9	947	50	407	8,3	10,9	10,9				
60	19,5	17,3	1510	35,5	0,474	328	5,5	5,7	504	47	521	8,7	10,4	10,4				
70	21,5	20,1	1185	37,6	0,468	378	5,4	5,0	325	46	617	8,8	9,6	9,6				
80	23,2	22,7	969	39,3	0,464	422	5,3	4,4	216	43	704	8,8	8,7	8,7				
90	24,6	25,0	827	40,6	0,461	460	5,1	3,8	142	39	781	8,7	7,7	7,7				
100	25,7	27,1	718	41,7	0,459	492	4,9	3,2	109	36	849	8,5	6,8	6,8				
110	26,6	29,1	642	42,7	0,457	519	4,7	2,7	76	33	909	8,3	6,0	6,0				
120	27,4	30,8	582	43,4	0,455	541	4,5	2,2	60	31	962	8,0	5,3	5,3				

Таблица П.7

Ход роста сосновых древостоев искусственного происхождения (В. С. Мирошников, О. А. Трулль, В. Е. Ермаков)

Возраст, лет	Средние показатели		Число стволов, шт	Сумма площадей сечения, м ²	Видовое число	Запас, м ³	Прирост, м ³		Вырубаемая древесина и отпад		Общая производительность, м ³	
	Высота, м	Диаметр, см					текущий	средний	Число стволов, шт.	Запас, м ³		
I класс бонитета (типы леса: сосняки черничные, мшистые, мшисто-черничные и мшисто-брусничные)												
5	1,1	—	8840	—	—	4,5	0,93	0,93	—	0,15	4,7	
10	4,1	5,2	7315	15,75	0,715	46	8,25	4,60	1525	0,20	47	
15	7,2	7,1	5675	22,88	0,587	98	10,62	6,61	1640	0,40	100	
20	10,0	9,1	4265	27,50	0,541	153	11,42	7,81	1410	2,35	157	
25	12,5	11,2	3270	30,80	0,516	206	11,60	8,57	995	5,00	215	
30	14,7	13,3	2575	33,35	0,504	255	11,58	9,07	695	8,90	273	
35	16,6	15,4	2070	35,30	0,497	298	11,32	9,39	505	13,70	330	
40	18,3	17,4	1695	36,90	0,491	336	10,98	9,59	375	16,90	385	
45	19,7	19,5	1410	38,15	0,484	370	10,60	9,70	285	19,50	438	
50	21,0	21,4	1185	39,13	0,482	399	10,16	9,95	225	21,40	488	
55	22,1	23,2	1005	39,90	0,480	425	9,64	9,74	180	22,45	537	
60	23,0	25,0	865	40,47	0,478	447	9,08	9,68	140	22,90	582	
65	23,9	26,5	755	40,93	0,476	467	8,45	9,57	110	22,85	623	
70	24,6	27,9	675	41,27	0,474	484	7,70	9,45	80	22,25	663	
75	25,2	29,1	615	41,55	0,472	497	6,94	9,29	60	21,70	697	
80	25,6	30,2	580	41,80	0,470	507	6,12	9,09	35	20,70	728	
85	25,9	31,0	547	42,03	0,468	513	5,24	8,86	33	19,80	754	
90	26,1	31,7	517	42,23	0,466	517	4,38	8,61	30	18,40	776	

Окончание табл. П.7

Возраст, лет	Средние показатели		Число стволов, шт	Сумма площадей сечения, м ²	Видовое число	Запас, м ³	Прирост, м ³		Вырубаемая древесина и отпад		Общая производи- тельность, м ³	
	Высота, м	Диаметр, см					текущий	средний	Число стволов, шт.	Запас, м ³		
II класс бонитета (типы леса: сосняки брусничные, бруснично-вересковые и бруснично-мшистые)												
5	0,9	–	8940	–	–	4,0	0,82	0,82	–	0,10	4,1	
10	3,1	4,6	7840	12,75	0,840	33	5,93	3,37	1100	0,15	34	
15	5,7	6,2	6386	19,05	0,655	72	7,93	4,89	1455	0,30	73	
20	8,1	7,9	5035	23,48	0,580	115	8,88	5,89	1350	1,70	118	
25	10,4	9,7	3970	26,90	0,542	158	9,25	6,56	1065	3,00	165	
30	12,5	11,5	3185	29,65	0,522	200	9,52	7,05	785	5,70	212	
35	14,2	13,3	2610	31,80	0,510	238	9,51	7,41	575	9,40	259	
40	15,8	15,1	2165	33,58	0,503	273	9,44	7,66	445	12,95	306	
45	17,1	16,9	1805	35,00	0,498	304	9,32	7,84	360	15,35	353	
50	18,3	18,6	1525	36,18	0,494	332	9,10	7,97	280	17,60	399	
55	19,3	20,2	1300	37,15	0,491	356	8,77	8,04	225	19,85	442	
60	20,2	21,8	1120	37,90	0,488	378	8,35	8,07	180	20,25	484	
65	21,0	23,3	985	38,55	0,486	396	7,85	8,05	135	20,75	523	
70	21,7	24,6	885	39,08	0,484	411	7,21	7,99	100	20,85	559	
75	22,2	25,7	810	39,53	0,482	424	6,53	7,89	75	20,15	592	
80	22,6	26,7	755	39,93	0,479	433	5,73	7,77	55	19,35	621	
85	22,9	27,5	710	40,30	0,477	439	4,88	7,59	45	18,20	645	
90	23,1	28,1	670	40,65	0,475	442	4,05	7,39	40	17,25	665	

Таблица П.8

Ход роста основных древостоев (Ф. П. Моисенко, В. Ф. Багинский)

Возраст, лет	Средние показатели		Число стволов, шт.	Сумма площадей сечения, м ²	Видовое число	Запас стволовой древесины, м ³	Изменение запаса, м ³	
	Высота, м	Диаметр, см					среднее	текущее
I класс бонитета								
20	9,5	9,4	3330	23,1	0,543	119	6,0	–
30	13,0	13,4	1992	28,1	0,507	185	6,2	6,6
40	16,3	17,2	1377	32,0	0,487	254	6,3	6,9
50	19,2	20,6	1053	35,1	0,475	320	6,4	6,6
60	21,8	23,6	864	37,8	0,467	385	6,4	6,5
70	24,1	26,6	721	40,1	0,462	446	6,4	6,1
80	26,1	29,5	616	42,1	0,458	503	6,3	5,7
90	27,8	32,3	535	43,8	0,455	554	6,1	5,1
100	29,4	34,9	474	45,3	0,452	602	6,0	4,8
110	30,8	37,4	424	46,6	0,450	646	5,9	4,4
120	32,0	39,0	398	47,6	0,449	684	5,7	3,8
II класс бонитета								
20	8,5	8,6	3701	21,5	0,558	102	5,1	–
30	11,4	12,0	2281	25,8	0,521	153	5,1	5,1
40	14,1	15,6	1538	29,4	0,499	207	5,2	5,4
50	16,7	18,5	1205	32,4	0,485	262	5,2	5,5
60	19,0	21,2	989	34,9	0,476	315	5,3	5,3
70	20,9	23,7	836	36,9	0,470	362	5,2	4,7
80	22,7	26,2	716	38,6	0,465	407	5,1	4,5
90	24,2	28,3	639	40,2	0,462	450	5,0	4,2
100	25,6	30,5	569	41,6	0,459	489	4,9	3,9
110	26,9	32,8	508	42,9	0,456	526	4,8	3,7
120	28,0	34,4	473	44,0	0,454	559	4,6	3,3

ЛИТЕРАТУРА

1. Антанайтис, В. В. Современное направление лесоустройства. – М.: Лесная промышленность, 1977. – 279 с.
2. Атрощенко, О. А. Исследование операций в лесохозяйственных задачах: учеб. пособие: в 2 ч. – Минск: БТИ им. С. М. Кирова, 1992. – Ч. 1. – 61 с.
3. Атрощенко, О. А. Исследование операций в лесохозяйственных задачах: учеб. пособие: в 2 ч. – Минск: БТИ им. С. М. Кирова, 1992. – Ч. 2. – 57 с.
4. Атрошчанка, А. А. Лесаўпарадкаванне / А. А. Атрошчанка, В. Я. Ермакоў, М. П. Дзямід. – Мінск: БДГУ, 2002. – 498 с.
5. Белл, Э. Т. Творцы математики: пер. с англ. – М.: Просвещение, 1979. – 256 с.
6. Бриндум, Х. Эксперименты по рубкам ухода за хвойными и твердолиственными породами в Дании // Сб. Проблемы рубок ухода. – М.: Лесная промышленность, 1987. – С. 48–65.
7. Галако, В. А. Оптимизация формирования высокопродуктивных лесных насаждений на Урале // Сб. Лесная таксация и лесоустройство. – Красноярск: СТИ, 1986. – С. 132–136.
8. Кожевников, А. М. Научные основы рубок ухода в лесах Белоруссии: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.03.02 / А. М. Кожевников. – Минск, 1973. – 30 с.
9. Никитин, К. Е. Методика и техника обработки лесоводственной информации / К. Е. Никитин, А. З. Швиденко. – М.: Лесная промышленность, 1978. – 270 с.
10. Нормативные материалы для таксации леса Белорусской ССР: утв. Гослесхозом СССР 17.06.1982. – М.: ЦБНТИ, 1984. – 306 с.
11. Петров, А. П. Экономические аспекты проведения рубок ухода // Проблемы рубок ухода: сб. – М.: Лесная промышленность, 1987. – С. 259–265.
12. Правила рубок леса в Республике Беларусь: ТКП 143-2008 (02080) – 2008: утв. Мин-вом лесного хозяйства Респ. Беларусь 30.09.2008. – Минск, 2008. – 104 с.
13. Проекты (работы) курсовые. Требования и порядок подготовки, представление к защите и защита: СТП БГТУ 002–2007. – Взамен СТП БГТУ 05-11-91; введ. 02.05.07. – Минск, БГТУ. – 40 с.

14. Свалов, Н. Н. Моделирование производительности древостоев и теория лесопользования. – М.: Лесная промышленность, 1979. – 215 с.
15. Справочник таксатора / В. С. Мирошников [и др.]; под общ. ред. В. С. Мирошникова. – Минск: Ураджай, 1980. – 360 с.
16. Arney, J. D. Computer simulation of Douglas-fir tree and stand growth // J. D. Arney; Ph. D. thesis; Oregon State Univ. – Corvallis, 1972. – 79 p.
17. Assmann, E. Waldertragskunde: Organische Produktion, Struktur, Zuwachs und Ertrag von Waldbeständen / E. Assman. – München etc., 1961. – 492 p.
18. Assmann, E. Tafeln für optimale Bestockungsdichte und Zuwachs-Reduktionstufen für Tichte / E. Assmann, F. Franz. – Berlin, 1967. – 91 p.
19. Chin-Teng Lin, Neural Fuzzy Control System with Structure and Parameter Learning. Singapore: World Scientific / Chin-Teng Lin, George Lee C.S. – 1994. – 150 p.
20. Isomaki, A. Experiments computer method / A. Isomaki, P. Niemisto // Folia Forestalia, n. 557. – 1983. – P. 150–156.
21. Kilkki, P. A long-term timber production model and its application to a large forest area / P. Kilkki, R. Pokala // Acta Forestalia Fennica. – 1975. – V. 173. – P. 38–48.
22. Kilkki, P. Determination of the optimum cutting policy for the forest stand by means of dynamic programming / P. Kilkki, U. Vaisanen // Acta Forestalia Fennica. – 1969. – V. 102. – P. 58–71.
23. Li, F. Modelling the joint distribution of tree diameters and heights by bivariate beta distribution / F. Li, L. Zhang, C. Davis // Forest Science, 1973. – Vol. 48, № 1. – P. 47–58.
24. Munro, D. D. Forest growth models a prognosis // Col. Growth models for tree and stand simulation / D. D. Munro. – IUFRO: Stockholm, 1973. – P. 10–24.
25. Mitscherlich, A. Ertragsgesetze. – Berlin, 1956. – 246 p.
26. Newnham, R. M. The development of a stand model for Douglas-fir / R. M. Newnham // Ph. D. thesis, The Univ. of British Columbia – Vancouver, 1964. – 201 p.
27. Valiaho, H. A system for simulation of the development of stem diameter distributions / H. Valiaho, Y. Vuokila. – Com. Inst. Forestalis Fenniae. – Helsinki, 1973. – 25 p.
28. Vuokila, Y. Growth and yield tables for pine stands treated with intermediate cuttings of varying degree for southern central Finland / Y. Vuokila. – Com. Inst. Forestalis Fenniae. – Helsinki, 1967. – 123 p.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ	5
1.1. Цель исследования	5
1.2. Задачи исследования	5
1.3. Основные направления моделирования в лесном хозяйстве	5
1.4. Современные направления моделирования роста и производительности древостоев	7
2. СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО МАТЕРИАЛА	10
2.1. Подготовка экспериментального материала	10
2.2. Статистическая обработка экспериментального материала	11
3. МОДЕЛИРОВАНИЕ ХОДА РОСТА СОСНОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ	19
3.1. Основные методы моделирования хода роста древостоев	19
3.2. Регрессионный анализ экспериментальных данных	23
3.3. Построение таблиц хода роста древостоев	33
4. ПРОГРАММА ФОРМИРОВАНИЯ СОСНОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ РУБКАМИ УХОДА	37
4.1. Применение имитационного моделирования в программах рубок ухода	37
4.2. Нормативные материалы при моделировании оптимальной производительности	40
4.3. Алгоритм модели оптимальной производительности	45
4.4. Моделирование производительности при различных режимах лесовыращивания	47
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	56
ПРИЛОЖЕНИЕ	58
ЛИТЕРАТУРА	84

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Методические указания

Составитель **Севко** Оксана Александровна

Редактор *М. Д. Панкевич*
Компьютерная верстка *Д. С. Семижён*
Корректор *М. Д. Панкевич*

Издатель:
УО «Белорусский государственный технологический университет».
ЛИ № 02330/0549423 от 08.04.2009.
Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.