

630^x
М 79

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

УДК 630*56

ФРАНСИКО МОРЕНО КРУС

**МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРОЕНИЯ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ
СОСНОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ В НИКАРАГУА**

06.03.02 – Лесоустройство и лесная таксация

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата
сельскохозяйственных наук

Минск 1998

Работа выполнена на кафедре лесоустройства Белорусского государственного технологического университета.

Научный руководитель доктор сельскохозяйственных наук, профессор **Атроцанко О.А.**

Официальные оппоненты: доктор сельскохозяйственных наук, профессор **Янушко А.Д.;**

кандидат сельскохозяйственных наук **Романовский В.П.**

Оппонирующая организация Государственное лесоустроительное производственное объединение «Белгослес»

Защита состоится «23 апреля» 1998г. в 10 часов на заседании Совета по защите диссертацией Д 02.08.05 в Белорусском государственном технологическом университете по адресу 220630, г. Минск, ул. Свердлова, 13а. Телефон ученого секретаря 227-57-13.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского государственного технологического университета.

Автореферат разослан «20 марта» 1998г.

Ученый секретарь Совета по защите диссертаций кандидат биологических наук

А. И. Блинов А. И. Блинов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. Переход в лесном хозяйстве к автоматизированным системам планирования и управления предопределяет необходимость углубленного исследования процессов роста леса, своевременного получения достоверной информации о состоянии лесного фонда, его динамики во времени, разработки лесотаксационных нормативов, математического и программного обеспечения автоматизированных систем.

Особое значение имеют модели роста и производительности древостоев, которые требуются для различных аспектов контроля и управления лесами: таксации насаждений, оценки вариантов ухода за лесом, прогнозирования продуктивности насаждений, кадастровой оценки лесов. Совместно с моделями оптимизации лесохозяйственных мероприятий, модели роста и производительности насаждений дают ключевую информацию с принятии правильных решений в управлении лесами.

Высокопродуктивные и быстрорастущие насаждения сосны яйцеплодной (Pinus oocarpa) в районе Юкула в Никарагуа имеют статус генетического резервата, поэтому исследование роста и продуктивности данных эталонных сосновых насаждений естественного происхождения имеет актуальное значение.

Связь работы с крупными научными программами, темами. Исследование выполнено как составная часть тематики научно-исследовательских работ лесохозяйственного факультета и кафедры лесоустройства (тема ГВ 29-91, № гос. регистрации 01010008669) Белорусского государственного технологического университета. Тематика НИР связана с выполнением задания 01.05 «АСУ - лесные ресурсы» республиканской научно-технической программы 33.01 РЦ «Древесные ресурсы» и планом аспирантской подготовки на кафедре лесоустройства.

Цель и задачи исследования. Диссертация посвящена разработке моделей строения, роста и производительности сосновых насаждений естественного происхождения - быстрорастущей сосны яйцеплодной (Pinus oocarpa) как эталонных сосновых насаждений в Никарагуа. Конкретными задачи исследования явились: 1) выполнить исследование строения, роста и производительности сосновых насаждений; 2) разработать алгоритмы, математические модели и программы на РС IBM для системы моделирования строения, роста и производительности насаждений сосны яйцеплодной;

ПЕЧАТ

3) разработать таблицы роста и производительности сосновых насаждений, динамики их строения по диаметру.

Объект и предмет исследования. Объекты исследования представлены сосновыми насаждениями естественного происхождения в Никарагуа в генетическом резервате «Эль Юкуль».

Предметом исследования явились закономерности строения, роста и производительности сосновых древостоев (сосны яйцеплодной – *Pinus oocarpa*).

Гипотеза. Производительность и рост сосновых древостоев (сосны яйцеплодной – *Pinus oocarpa*) в условиях Никарагуа достоверно различаются в классах бонитета 16, 19 и 27.

Методология и методы проведенного исследования. Методология исследования включает диалектический и системный подходы к изучению процессов роста сосновых насаждений. Методы лесной таксации, биометрии и имитационного моделирования использованы в исследовании и моделировании строения, роста и производительности сосновых древостоев.

Научная новизна и значимость полученных результатов. Автором впервые научно обоснованы и получены следующие результаты:

- методика имитационного моделирования строения и роста древостоев на PC IBM с использованием стандартного пакета Excel Microsoft Office -97;
- имитационная система моделирования строения и роста сосновых древостоев в условиях Никарагуа;
- математические модели, таблицы строения, роста и производительности насаждений сосны яйцеплодной в Никарагуа.

Результаты исследования представляют новые закономерности строения и роста насаждений сосны яйцеплодной в Никарагуа, объясняют связи между таксационными показателями, общей производительностью и приростом сосновых древостоев.

Практическая значимость полученных результатов. Разработаны имитационные модели строения, роста и производительности сосновых древостоев на PC IBM, лесотаксационные таблицы и программное обеспечение, которые используются в лесоустройстве и лесоустроительном проектировании.

Экономическая эффективность результатов исследования заключается в повышении точности таксации сосновых лесов, про-

гнозе их продуктивности, совершенствовании лесоустроительного проектирования и обосновании возраста рубки.

Методика имитационного моделирования строения и роста древостоев, программное обеспечение на PC IBM с использованием стандартного пакета Excel Microsoft Office -97 внедрены в технологию лесоустроительного проектирования ГЛПО «Белгослес» с ожидаемым экономическим эффектом 171 млн. рублей (акт внедрения от 16 февраля 1998 г.).

Основные положения диссертации, выносимые на защиту. На защиту выносятся следующие основные положения: 1) новая методика имитационного моделирования строения и роста древостоев на PC IBM с использованием стандартного пакета Excel Microsoft Office -97, позволяющая сократить процесс моделирования на 50%; 2) математические модели, программное обеспечение и имитационная система моделирования строения, роста и производительности сосновых древостоев, имеющих практическое значение при моделировании роста леса на ЭВМ; 3) таблицы роста и производительности сосновых насаждений естественного происхождения, применяемые в лесоустройстве при таксации лесов; 4) таблицы динамики строения сосновых древостоев по диаметру, используемые для предварительной оценки товарности древостоев.

Личный вклад соискателя. Автору принадлежит постановка проблемы, разработка основных методических положений ее решения, сбор и анализ экспериментального материала, разработка алгоритмов и программ на PC IBM, обработка данных на персональном компьютере, математическое моделирование строения, роста и производительности сосновых древостоев, разработка таблиц роста и производительности сосновых насаждений по классам бонитета, таблиц динамики строения по диаметру, имитационной системы моделирования строения, роста и производительности насаждений сосны яйцеплодной в Никарагуа.

Апробация результатов диссертации. Основные методические положения, результаты и практические рекомендации докладывались и получили положительную оценку на научных конференциях лесохозяйственного факультета БГТУ (1995 – 1997 годы), международных конференциях «Лес -96» и «Лес -97», на научно-практической конференции «75 лет лесной науки» (1997г.) в Институте леса Национальной академии наук Республики Беларусь.

Опубликованность результатов. Основные положения напечатаны в семи публикациях, в том числе: две статьи - в сборниках научных трудов БГТУ, в реферативном сборнике неопубликованных работ (две депонированные статьи в БелИСА), двое тезисов - в материалах международных конференций, одна статья - в сборнике научных трудов Института леса НАН Беларуси. Общее количество страниц опубликованных материалов составляет 32 страницы.

Структура и объем диссертации. Работа состоит из введения, общей характеристики работы, 4 глав и заключения, списка использованных источников и приложения. Она содержит 120 страниц машинописного текста, в том числе 27 рисунков и 18 таблиц. Список литературы включает 117 наименований, в том числе 23 - на иностранных языках. В двух приложениях приведены основные исходные материалы и программы на РС IBM.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

1. Современное направление моделирования строения и хода роста древостоев

Закономерности строения и хода роста древостоев исследовали: Вейзе, Вимменауэр, Гуттенберг (1880-1901 гг.), Фекете, Пиффель (1902 - 1914 гг.), А. В. Тюрин (1971), Н. В. Третьяков (1927), В. С. Моисеев (1968), В. П. Романовский (1972), В. Ф. Багинский (1972), А. Д. Янушко (1967), И. И. Гусев (1960), К. Е. Никитин (1978), А. А. Макаренко (1982), О. А. Атрощенко (1985), Н. Н. Свалов (1982), В. Е. Ермаков (1975), В. С. Мирошников (1971) и другие исследователи.

В данном разделе рассмотрены основные теоретические положения по вопросам строения древостоев, моделирования связей таксационных показателей деревьев в древостое и роста леса на ЭЕМ.

Отмечается, что в большинстве случаев исследователи применяли для моделирования строения древостоев по диаметру модели нормального, логарифмически-нормального, Вейбула, гамма- и бета-распределений.

Наиболее подходящие для аппроксимации строения древостоев по диаметру оказались бета-распределение и распределение Вейбула.

Изучение закономерностей строения и роста древостоев является актуальным и, кроме познавательных целей, позволяет

решать практические задачи, среди которых получение распределения числа деревьев, сумм площадей сечений и запасов по ступеням толщины на основе средних таксационных показателей древостоя. В связи с внедрением компьютерных технологий в лесное хозяйство перспективным направлением является представление закономерностей строения и роста леса в виде математических моделей на ЭВМ.

Моделирование роста леса целесообразно выполнять в несколько этапов: 1) эмпирическое изучение процессов, подлежащих моделированию; 2) разработка математических моделей связи между таксационными показателями; 3) построение имитационной модели строения, роста и производительности древостоев; 4) проверка моделей и их интерпретация.

2. Программа, методика и объекты исследования

Программой исследований предусмотрено выполнение следующих этапов: 1) аналитический обзор принципов и методов моделирования строения древостоев, современного направления моделирования хода роста и производительности древостоев на ЭВМ; 2) сбор экспериментального материала; 3) разработка методики исследования; 4) вычисления таксационных показателей древостоев на временных пробных площадях; 5) статистический анализ распределения числа деревьев по диаметру; 6) разработка алгоритмов и прикладных программ на ЭВМ для оценки таксационных показателей древостоев и имитационного моделирования строения древостоев по диаметру; 7) моделирование строения, роста и производительности сосновых древостоев естественного происхождения; 8) создание лесотаксационных моделей (таблиц роста и производительности, динамики строения древостоев); 9) оценка экономической эффективности лесовыращивания сосновых древостоев.

Исследования проводились по материалам перечислительной таксации на временных пробных площадях, заложенных в высокополотных насаждениях.

Модели (таблицы) хода роста древостоев были построены по методике, разработанной на основе анализа исследований О. А. Атрошенко /1985/, В. Ф. Багинского /1972/, Н. Н. Свалова /1978/, А. В. Тюрина /1945/, Толкача И. В. /1996/.

Для моделирования связей высот деревьев с диаметрами, хода роста по диаметру, запасам, суммам площадей сечений, ви-

довому числу и абсолютному среднему приросту по запасу использовали уравнения параболического, логарифмического и экспоненциального типов с преобразованием и без преобразования независимой переменной, отобранные в результате аналитического обзора работ других авторов.

Расчет и оценка параметров регрессионных уравнений сделаны на ПЭВМ по программе «Статистика» (Statistica for Windows - 95).

В качестве модели отбирались уравнения, имеющие значимые коэффициенты по t критерию Стьюдента с вероятностью 0,95, достоверные по F критерию Фишера, с коэффициентом детерминации ($R^2 > 0,80$), стандартной ошибкой оценки зависимой переменной не более 10%.

Объектом исследования послужили чистые сосновые древостои естественного происхождения из лесного генетического резервата «Эль Юкуль». Эль Юкуль расположен на севере страны в департаменте Матагальпы, по площади занимает 668 га. Согласно естественному районированию страны, Эль Юкуль относится к центральному району (это горный, влажный тропический лесной массив). Среднегодовое количество осадков составляет 1870 мм, среднегодовая температура - 22.4 °С. Объект исследования находится на высоте от 800 до 1200 м над уровнем моря.

Экспериментальный материал представлен данными выборочной таксации сосновых древостоев на 856 пробных площадях и анализами хода роста стволов у 256 модельных деревьев, срубленных рядом с таксируемыми пробными площадями.

В исследованиях применялась двухэтапная систематическая выборка. На первом этапе выполнена систематическая линейная выборка, т.е. через каждые 100 м закладывались линейные полосы шириной 100 м. На втором этапе вдоль каждой полосы через 100 м закладывались выборочные прямоугольные площадки размером 250 м². На каждой площадке выполнялись следующие работы: 1) сплошной перебор деревьев по пятисантиметровым ступеням толщины; 2) измерялись высоты трех деревьев по ступеням толщины; 3) описывались почвенно-грунтовые условия и преобладающий живой напочвенный покров.

Принадлежность сосновых насаждений к одному естественно-му ряду роста и развития определялась общностью класса бонитета и почвенно-грунтовых условий:

1. Класс бонитета 27 - богатые, глинистые, хорошо дренированные мощные почвы с преобладанием в напочвенном покрове орляка - *Pteridium aquilinum*. Сосновые насаждения произрастают на равнинных местоположениях.
2. Класс бонитета 19 - хорошо дренированные среднемощные глинистые почвы с железисто - марганцовистыми отложениями. Преобладающим растением в напочвенном покрове является *Mimosa albida*.
3. Класс бонитета 16 - дренированные маломощные почвы с волнистой топографией, бедные по составу, песчаные и в смеси с глиной и галькой. В напочвенном покрове преобладают осоковые растения.

Моделирование строения древостоев по диаметру выполнено путем аппроксимации опытных распределений функциями теоретических распределений.

Составлены таблицы роста и производительности полных сосновых древостоев по классам бонитета, а также таблицы динамики строения по диаметру сосновых насаждений в Никарагуа. Разработана программа для моделирования роста и производительности древостоев на ПЭВМ на основе электронной таблицы Excel - 97.

3. Моделирование строения древостоев

Статистический анализ строения древостоев по диаметру выполнен по данным перечислительной таксации на временных пробных площадях. При статистическом анализе определялись основные статистики распределений и их взаимосвязи с таксационными показателями древостоев.

Анализ статистических показателей распределений деревьев по диаметру показывает, что возраст изучаемых древостоев изменяется от 5 до 45 лет, размах вариации среднего диаметра от 4 см до 49 см, показатель асимметрии варьирует от -4.945 до 1.745, показатель эксцесса - от -0.433 до 1.327, коэффициент вариации изменяется от 20.5% до 31.9%, стандартное отклонение распределений - от 1.48 см до 7.22 см. --

При моделировании строения древостоев по диаметру были исследованы следующие теоретические функции распределения: гамма-, Пуассона и логарифмически - нормальная (рис.1), распределение Джонсона типа S_B и бета-распределения (рис.2).

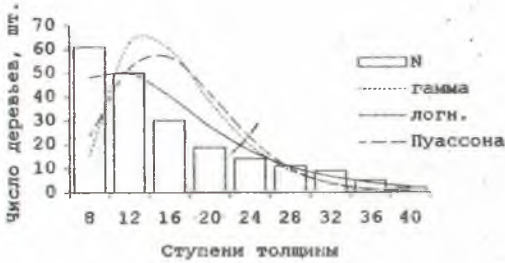


Рис. 1. Опытное и теоретические гамма-, Пуассона и логнормальное распределения деревьев по диаметру



Рис. 3. Опытное и теоретические распределения бета- и Джонсона типа S_B .

Результаты показывают, что лучшие результаты при аппроксимации опытных распределений числа деревьев по ступеням толщины дают функции бета-распределения и распределение Джонсона типа S_B (табл. 1).

Табл. 1

Опытное и теоретические распределения числа деревьев по диаметру

Ступени толщин	4	8	12	16	20	24	26	28	32	Критерий Пирсона $\chi^2_{\text{Квадрат}}$
Опытное	61	50	30	19	14	11	10	9	8	-
Бета-распределение	52	45	31	24	19	16	12	9	5	8,95
Распределение Джонсона	67	42	28	20	16	12	10	8	6	3,49

Имитационная система моделирования строения древостоев по диаметру разработана на основе исследования строения сосновых насаждений Никарагуа, применения статистической модели бета-распределения числа деревьев по диаметру, регрессионных моделей связи параметров модели распределения и таксационных показателей деревьев в древостое, алгоритма имитации строения и вычисления таксационных показателей древостоя.

Для имитационного моделирования строения сосновых древостоев по диаметру создана программа DMODEL, которая написана на языке Фортран, транслятором Microsoft Power Station, работающим в среде Windows - 95.

По регрессионной модели связи с таксационными показателями оценивается среднеквадратическое отклонение распределения числа деревьев по диаметру в древостое.

По заданному алгоритму оцениваются основные параметры функции бета-распределения. На основе полученных параметров (a, b, c, σ, γ) по формуле функции плотности распределения определяется число деревьев по ступеням толщины. Вычисляется средний (таксационный) диаметр древостоя, который сравнивается со средним диаметром древостоя. Если различие диаметров составляет более 2 см, процесс повторяется: верхний предел бета-распределения увеличивается на один шаг и повторно вычисляются все показатели, т. е. применяется итерационная процедура. По регрессионным моделям связи оцениваются средние высоты деревьев, видовые числа, объемы стволов и, как результат, запас древостоя.

В системы заложены следующие регрессионные модели связи: ход роста по высоте сосновых древостоев 16 класса бонитета (1), 19(2) и 27(3) классов бонитета, наиболее вероятные значения видового числа по классам бонитета (4).

$$H = -0.9857 + 1.335505A - 0.027753A^2 + 0.00021A^3, \quad (1)$$

$$\lg(H) = 0.40256 + 0.343991g(D) + 0.2036981g^2(D), \quad (2)$$

$$\lg(H) = 0.88596 + 0.311091g^2(D) - 0.084117g^2(A), \quad (3)$$

$$B_v = 0.70507 - 0.02512H + 0.000774H^2 - 0.000009H^3. \quad (4)$$

Имитационная модель строения сосновых древостоев по диаметру позволяет на ПЭВМ разрабатывать таблицы строения древостоев по диаметру в дополнение к таблицам хода роста и производительности древостоев (табл.2), получать перечень деревьев

Табл. 2
Динамика распределения числа деревьев по диаметру в сосновых древостоях
Никарагуа
Класс бонитета 27

Возраст, лет	Величина на ступени, см	Ступени толщины																
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14				
5	1	-	1265	1040	891	762	640	520	397	267	115	-	-	-	-			
10	4	53	193	246	203	113	35	2	-	-	-	-	-	-	-			
15	4	-	6	49	98	125	117	79	33	3	-	-	-	-	-			
20	4	-	-	4	29	59	77	79	66	44	22	6	-	-	-			
25	4	-	-	-	3	18	38	56	64	61	47	25	5	-	-			
30	4	-	-	-	1	4	14	28	43	54	54	44	24	4	-			
35	4	-	-	-	-	1	4	11	20	32	45	58	64	-	-			
40	4	-	-	-	-	1	2	5	11	19	29	39	50	52	-			
					Растущая часть													
					Отпад (вырубаемая часть)													
10	1	-	1585	955	733	598	495	402	286	-	-	-	-	-	-			
15	2	-	-	35	59	63	57	46	34	22	12	5	1	-	-			
20	4	-	18	32	31	23	13	5	1	-	-	-	-	-	-			
25	4	-	1	7	15	19	16	10	3	1	-	-	-	-	-			
30	4	-	-	1	4	9	12	13	10	6	3	1	-	-	-			
35	4	-	-	-	1	3	6	8	6	4	1	-	-	-	-			
40	4	-	-	-	-	1	3	5	6	4	2	1	-	-	-			

Примечание. Ступени толщины определяются произведением номера ступени на ее величину.

на основе таксационных показателей древостоев: возраст, сумма площадей сечений, средний диаметр, средняя высота, запас, класс бонитета и число деревьев, древостоя или отпада, представленные в таблицах роста и производительности древостоев.

4. Моделирование роста и производительности древостоев

Моделирование хода роста древостоев выполнено по данным перечислительной таксации сосновых древостоев, разработки регрессионных уравнений связи между таксационными показателями по классам бонитета (16,19,27 - доминантная высота древостоя в возрасте 20 лет), отражающими ход роста по высоте (1,2,3), видовому числу (4), диаметру (5,6,7), суммам площадей сечений (8,9) и абсолютному среднему приросту по запасу (10,11,12).

$$D(16) = 4.30429 + 1.83281A - 0.03887A^2 + 0.0003A^3, \quad (5)$$

$$D(19) = -5.24545 + 1.980472A - 0.02384A^2 + 0.000062A^3, \quad (6)$$

$$D(27) = -12.4951 + 17.33351gA + 13.10551g^2A, \quad (7)$$

$$Lg G(16) = -2.4265 + 5.121061gH - 1.6291g^2H, \quad (8)$$

$$Lg G(19) = -0.74696 + 2.0436961gH - 0.302881g^2A, \quad (9)$$

$$\bar{Z}_M(16) = -6.34667 + 1.827189A - 0.05767A^2 + 0.000559A^3, \quad (10)$$

$$\bar{Z}_M(19) = -6.68895 + 1.87893A - 0.05293A^2 + 0.00043A^3, \quad (11)$$

$$\bar{Z}_M(27) = 0.873898 - 0.026606A + 0.000271A^2 - 0.00002A^3 + 0.750221gA. \quad (12)$$

Модели (таблицы) роста и производительности сосны яйцеплодной являются эталонными моделями, показывающими потенциальную производительность сосновых насаждений в данных условиях местопроизрастания.

Модели роста и производительности древостоев создаются путем имитационного моделирования на ПЭВМ. На основании полученных данных (высота, диаметр, запас, видовая высота древостоя, диаметр отпада) вычисляются остальные таксационные показатели древостоев и отпада, общая производительность и прирост древостоев по общепринятому алгоритму.

Математические модели являются одной из форм информационного обеспечения компьютерных технологий, они отражают основные связи в определенной системе. Надежность работы системы моделирования роста и производительности древостоев зависит от имеющихся исходных данных, точности моделей связи между таксационными показателями, алгоритма имитации роста насаждений.

При составлении таблиц роста и производительности по классам бонитета для древостоев яйцеплодной сосны (Р. Оосагра) использовали вышеприведенные закономерности и по описанному алгоритму на основе электронной таблицы Excel - 97 разработана программа, которую можно использовать для имитационного моделирования роста и производительности сосновых древостоев.

В таблицах роста и производительности сосновых древостоев представлены основные показатели растущего древостоя и показатели отпада (вырубаемая часть).

Анализируя составленные таблицы роста и производительности естественных сосновых насаждений в условиях Никарагуа, можно отметить, что яйцеплодная сосна отличается большой производительностью. В древостоях 27 класса бонитета в возрасте 10 лет текущий среднепериодический прирост составляет 30 м^3 на гектаре. Запас древостоя в 40 лет - 535 м^3 на га. Возраст главной рубки 25 - 30 лет. Возраст количественной спелости - 20 лет (табл.3).

Экономическая эффективность лесовыращивания насаждений сосны яйцеплодной в классе бонитета 27 произведена на основе средней цены 1 м^3 заготовленной лесопроductии.

Таксовая цена леса на корню в Никарагуа не применяется. Стоимость 1 м^3 заготовленной сосновой древесины средней по размерам составляет пятьдесят долларов США, в эту стоимость обычно входит стоимость древесины на корню, стоимость лесозаготовок, транспорта леса и заложенная прибыль.

В связи с этим условно 1 м^3 запаса растущего древостоя на корню имеет таксовую цену пять долларов США. Исходя из этого можно оценить экономическую эффективность выращивания 1 га соснового древостоя, учитывая, что затраты (З) на выращивание 1 га леса до возраста главной рубки (30 лет) составляют в среднем восемьсот долларов США, т.е. в расчете на 1 год - $900/30=27$ долларов США. Доход от реализации древесины составит: $D=\text{Дгл.} + \text{Др.у.} = 480 \times 5 + 230 \times 5 = 3500\$,$

Табл. 3

Производительность сосновых древостоев
Класс бонитета 27

Возраст, лет	Растущий древостой						Выбраемая часть - отпад						Общая производительность			
	Высота, м	Диаметр, см	Число стволов, шт.	Сумма площадей сечений, м ²	Видовое число	Запас, м ³	Текущее изменение запаса, м ³	Высота, м	Диаметр, см	Число стволов, шт.	Сумма площадей сечений, м ²	Запас, м ³	Сумма промежуточного пользования, м ³	Запас, м ³	Текущий прирост, м ³	Средний прирост, м ³
5	10,8	6,0	5898	16,8	0,512	93	-	8,2	3,0	-	-	-	-	93	18,6	18,7
10	19,5	17,9	845	21,4	0,442	185	92	9,1	5,1	5053	10,3	57	57	242	29,7	24,2
15	24,7	26,0	510	27,1	0,421	282	97	15,5	14,5	335	5,6	48	105	387	29,0	25,8
20	28,3	32,2	387	31,6	0,410	366	84	19,2	20,8	123	4,2	43	148	514	25,5	25,7
25	30,9	37,3	317	34,7	0,402	432	66	21,8	25,5	70	3,6	42	190	622	21,5	24,9
30	33,0	41,7	269	36,7	0,395	480	48	23,4	29,1	48	3,2	40	230	709	17,5	23,6
35	34,7	45,5	234	38,0	0,389	513	33	23,4	29,1	48	3,2	40	230	709	17,5	23,6
40	36,1	48,9	206	38,6	0,383	535	22	24,1	31,4	36	2,8	36	266	779	13,9	22,2

где: Дгл. - доход от главной рубки; Др.у. - доход от рубок ухода.

Прибыль от лесовыращивания 1 га соснового насаждения 27 класса бонитета до 30 лет составляет:

$$П = Д - З = 3550 - 800 = 2750 \text{ долларов США/га,}$$

где: П - прибыль; Д - доход; З - затраты на лесовыращивания 1 га сосняка до 30 лет.

Рентабельность лесовыращивания (Р л.выр) определяется по формуле: $Р \text{ л.выр} = (П/З)100 = (2750/800) \times 100 = 343,7\%$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Сосновые древостои естественного происхождения (сосна яйцеплодная - *Pinus oocarpa*) из лесного генетического резервата «Эль Юкуль» в Никарагуа отличаются высокой производительностью, которая достоверно различается по классам бонитета. Абсолютный текущий прирост по запасу древостоя 27 класса бонитета в возрасте 10 лет составляет $30 \text{ м}^3/\text{га}$, запас в 40 лет $535 \text{ м}^3/\text{га}$, а в классе бонитета 16 соответственно - $12 \text{ м}^3/\text{га}$ и $297 \text{ м}^3/\text{га}$.
2. Исследование закономерностей строения сосновых древостоев по диаметру показало, что опытные распределения диаметров деревьев сосны яйцеплодной характеризуются значительной положительной асимметрией с преобладанием тонкомерных деревьев и имеют вид убывающего j - образного распределения, коэффициент асимметрии составляет от -4.945 до 1.745, поэтому модель нормального распределения не подходит для моделирования сосновых древостоев по диаметру.
3. Математическое описание опытных распределений диаметров деревьев в сосновых древостоях выполнено с применением моделей логнормального, гамма- и бета-распределений, кривой распределения Джонсона типа S_B . Наилучшие результаты по критерию χ^2 Пирсона с вероятностью 0,95 и биологической интерпретации параметров моделей получены с использованием моделей бета-распределения и кривой Джонсона типа S_B .
4. Разработана имитационная модель строения по диаметру древостоев сосны яйцеплодной, позволяющая имитировать на ЭВМ перерасчет деревьев по ступеням толщины на основе

таксационных показателей древостоя, представленных в таблицах роста и производительности древостоев или полученных в процессе глазомерно - измерительной таксации насаждений. Среднеквадратические ошибки отклонений результатов по модели на ПЭМ от данных таблиц роста и производительности составляют по диаметру - $\pm 0,63 - 1,32\%$, по запасу - $\pm 2,32 - 4,04\%$.

5. Построены регрессионные модели связи таксационных показателей сосновых древостоев, на основании которых создана имитационная модель роста и производительности насаждений сосны яйцеплодной в трех классах бонитета Н16, Н19, Н27.
6. Составлены таблицы роста и производительности полных сосновых древостоев для трех классов бонитета, которые являются эталонными моделями, показывающими потенциальную производительность сосны яйцеплодной в данном регионе. Общая производительность в 40 лет в классе бонитета 27 составляет 830 м³/га, возраст количественной спелости - 20 лет, возраст главной рубки - 25 - 30 лет, в классе бонитета 16 соответственно - 410 м³/га, 27 лет, 30 лет.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Атрощенко О. А., Морено К. Ф. Система моделирования и прогноза роста древостоев. Тезисы докладов международной научно - практической конференции «Лес - 96» Минск: БГТУ, 1996.- С 26.
2. Толкач И. В., Морено К. Ф. Имитационная модель и таблицы строения естественных сосновых древостоев Беловежской пуши по диаметру. Труды БГТУ: Лесное хозяйство. Минск: БГТУ, 1996.- № 4, с 72 - 76.
3. Морено К. Ф. Модели прироста сосновых древостоев Никарагуа. Труды БГТУ: Лесное хозяйство. Минск: БГТУ, 1997.- № 5, с 109 - 110.
4. Атрощенко О. А., Морено К. Ф. Практическое использование моделей роста и производительности древостоев. Тезисы докладов международной научно - практической конференции «Лес - 97». Минск: БГТУ, 1997.- С 10.
5. Морено К. Ф. Моделирование роста и производительности сосновых древостоев. Лесная наука на рубеже XXI века:

Сборник научных трудов Института леса Национальной АН Беларуси. Вып. 46. Гомель: ИЛНАН В, 1997.- С 306 - 309.

6. Морено К. Ф. Таблицы роста и производительности сосны яйцеплодной /в Никарагуа/ Белорус. гос. технолог. унив. - Мн., 1998. - 10 с.- Деп. в БелИСА 29.01.98.- № Д19982 // Реферативный сборник непубликуемых работ .- 1998.- № 9.- С 85.
7. Атрощенко О. А., Морено К. Ф. Моделирование строения по диаметру сосновых насаждениях в Никарагуа. Белорус. гос. технолог. унив. - Мн., 1998. - 9 с. Деп. в ин - те БелИСА 29.01.98.- № Д19983 // Реферативный сборник непубликуемых работ .- 1998.- № 9.- С 85.

РЕЗЮМЕ

Франсиско Морено Крус

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРОЕНИЯ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СОСНОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ В НИКАРАГУА

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРОЕНИЯ, ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ, СОСНОВЫЕ НАСАЖДЕНИЯ, НИКАРАГУА, ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ, ДИНАМИКА СТРОЕНИЯ, ДИАМЕТР, РЕГРЕССИОННЫЕ УРАВНЕНИЯ, ТАБЛИЦЫ РОСТА, ДРЕВОСТОЙ, СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ, ЗАПАС ДРЕВОСТОЯ, ПЕРСОНАЛЬНЫЙ КОМПЬЮТЕР, БЕТА - РАСПРЕДЕЛЕНИЕ.

Исследованы чистые высокополнотные сосновые насаждения по классам бонитета. Сосновые древостои представлены сосной яйцеплодной (*Pinus obovata*) из лесного генетического резервата «Эль Юкуль», расположенного в департаменте Матагальпа Республики Никарагуа.

Создана имитационная модель строения древостоев по диаметру в виде программы для ПЭМ с использованием теоретического распределения бета - функции. Построены таблицы динамики распределения числа стволов в сосновых насаждениях, а также кумуляты распределения числа деревьев в графическом и табличном видах. По заданному алгоритму на основе электронной таблицы Excel - 97 разработаны таблицы роста и производительности сосновых древостоев по классам бонитета.

Разработанные компьютерные программы могут быть использованы для имитационного моделирования строения, роста и производительности сосновых древостоев, полученные таблицы и графики могут найти применение как нормативы при лесоустроительных работах.

РЭЗЮМЭ

Даследаваны чыстыя высокапаўножныя сасновыя насаджэнні па класах банітэту. Сасновыя дрэвастой прадстаўлены сасной яйцеплоднай (*Pinus oocarpa*) з лясного генетычнага рэзервата "Эль Юкуль", які знаходзіцца ў дэпартаменце Матагалпы Рэспублікі Нікарагуа.

Зроблена імітацыйная мадэль будовы дрэвастояў па дыяметру ў выглядзе праграмы для ПЭВМ з выкарыстаннем тэарэтычнага размеркавання Бэта-функцыі. Пабудаваны таблицы дынамікі размеркавання колькасці ствалоў у сасновых насаджэннях, а таксама кумуляты размеркавання колькасці дрэваў у графічным і таблічным выглядзе.

Па задазенаму алгарытму на падставе электроннай таблицы Excel - 97 распрацаваны таблицы росту і прадукцыйнасці сасновыя дрэвастояў па класах банітэту.

Распрацаваныя камп'ютэрныя праграмы могуць быць выкарыставаны для імітацыйнага мадэлявання будовы, росту і прадукцыйнасці сасновыя дрэвастояў, атрыманыя таблицы і графікі могуць знайсці выкарыстанне як нарматывы пры лесаўпарадкавальных работах.

SUMMARY

There are investigated pure high - density pine stand on quality classes. Pine stand are submitted by a pitch pine (*Pinus oocarpa*) from the wood genetic tank " El Yucul ", located in department Matagalpa of Republic of Nicaragua.

The simulational model of a structure stand on a diameter as the program for PC with use of theoretical distribution beta - function is created. The tables of dynamics of distribution of number of trunks in pine stand and also accumulation of distribution of number of trees in graphic and tabulated kinds are constructed. On the given algorithm on the basis of a spreadsheet Excel - 97 the tables of growth

and productivity pine stands on quality classes are developed.

The developed computer programs can be used for simulation modeling of a structure, growth and productivity pine stand, the received tables and the diagrams can find application as the standard with forest inventory works.

ФРАНСИСКО МОРЕНО КРУС

**МОДЕЛИРОВАНИЕ, СТРОЕНИЯ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СОСНОВЫХ
НАСАЖДЕНИЙ В НИКАРАГУА**

Подписано в печать 16.03.98. Формат 60x90 1/16. Печать офсет-
ная. Усл.печ. л. 1,3. Усл.кр. - отт. 1,3. Уч. - изд. л. 1,1.

Тираж 100 экз. Заказ 162.

Белорусский государственный технологический
университет

220630, Минск, Свердлова, 13а.

Отпечатано на ротапринтере Белорусского
государственного технологического университета.

220630, Минск, Свердлова, 13.