МЕЖДУНАРОДНАЯ
АССОЦИАЦИЯ
ПО ИССЛЕДОВАНИЯМ
БОРЕАЛЬНЫХ ЛЕСОВ
(МАИБЛ)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ
СЛУЖБА
ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИИ

ТРУДЫ VII ЕЖЕГОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
МАИБЛ

УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ БОРЕАЛЬНЫХ ЛЕСОВ

Москва 1997

Сборник подготовлен на основе материалов докладов, сделанных на VII конференции Международной ассоциации исследователей бореальных лесов 19-23 августа 1996 г., в г. Санкт-Петербурге.

Доклады, представленные в сборнике, освещают основные итоги научных исследований бореальных лесов, проведенных в различных странах за период между VI и VII конференциями.

Сборник предназначен для специалистов лесного хозяйства, работников научно-исследовательских учреждений, аспирантов и студентов высших и средних специальных учебных заведений, а также широкого круга читателей, интересующихся проблемами сохранения и рационального использования бореальных лесов.

Сборник открывает доклад Президента ассоциации, академика РАСХН Писаренко А.И., далее доклады расположены в порядке русского алфавита. Списки литературы, использованной в докладах, приведены на языке оригинала.

Сборник подготовлен и издан при финансовой поддержке Федеральной службы лесного хозяйства России и Лесной Службы США (Forest Service USDA).

ISBN 5-7564-0150-4

(С) ВНИИЦлесресурс, 1997

Содержание

Писаренко А.И. Глобальное управление бореальными лесами: целесообразность или неизбежность . . . 3
Аннила Э. Пространственное и сукцессионное многообразие в бореальных лесах . . . 17
Ваганов Е.А., Петренко Е.С., Плешиков Ф.И., Иванов В.В., Вараксин Г.С., Бузыкин А.И., Бабинцева Р.М., Валендик Э.Н., Качаев А.В., Фуряев В.В., Волокитина А.В., Черкашин В.П., Векшин В.Н., Бриссетт Дж., Гиллеспи А. Российско-Американский проект по управлению лесами в зоне южной тайги Красноярского края, основанный на экосистемном подходе . . . 20
Веневский С.В., Швиденко А.З. Моделирование динамики древостоев на фазе разрушения . . . 30
Вит П. де Рюйтер Г. Устойчивое развитие лесов умеренной зоны: какую роль может играть образование? (пример Нидерландов) . . . 33
Вудвелл Д.М., Хафтон Р.Э. Тайна великого северного леса . . . 39
Кранкина О., Хэрмон М. Запасы питательных веществ и динамика древесного детрита в бореальных лесах северо-западной России . . . 46
Куусела К. Природная и антропогенная динамика европейских бореальных лесов . . . 50
Ливайн Д.С., Кейхун Д.Р., Кофер У.Р., Уинстэд Э.Л., Стокс Б.Дж. Пожары в бореальных лесах и выброс парниковых и химически активных газов . . . 56
Исаев А.С. Мониторинг биоразнообразия лесов России . . . 62
Лябо В.Дж. Предварительное испытание процедуры национального мониторинга лесов США в бореальных лесах Аляски . . . 65
Малышева Н.В., Князева С.В., Райченко Н.Э., Бабенко Л.В., Золина Т.А. Карта современного состояния лесов бассейна озера Байкал . . . 71
Орлова О.Л., Вуколова И.А. Оценка послерубочной динамики лесных экосистем бореальных лесов на основе аэрокосмической информации и гис-технологий . . . 74
Пуссинен А., Карьялайнен Т., Келломяки С. Вклад лесного сектора в фиксацию углерода при изменении климатических условий в Финляндии . . . 78
Пяйвинен Р., Биргер С. Международные проблемы лесной политики и информационные потребности . . . 87
Рожков В.А., Михайлов С.И., Карпачевский М.Л., Щепащенко Д.Г., Швиденко А.З. Нильссон С., Исаев А.С., Ефремов Д.Ф. Проблемы информационного обеспечения системы управления и функционирования бореальных лесов . . . 91
Романюк Б.Д., Бурневский Ю.И. Использование ландшафтного подхода при устойчивом управлении бореальными лесами . . . 98
Рэнсон К.Дж., Ливайн Э.Р., Нокс Р.Дж., Смит Дж., Сан Дж., Вильямс Д.Л. Использование комплекса имитационных моделей для понимания динамики экосистем северных лесов . . . 101
Саастамойнен О. Социальная устойчивость - забытое благо, неизбежное зло или окончательный критерий? . . . 112
Сейер Дж.А., Байрон Р.Н. Сценарии развития тропических лесов: взгляд на лесное хозяйство в XXI веке . . . 116
Солнцев Г.К., Коваль И.П., Придня М.В. Биоразнообразие лесных экосистем Северного Кавказа: проблемы его выявления и сохранения . . . 124
Соммерс У.Т. Устойчивое развитие бореальных лесов: роль глобальных изменений, нарушений и оценка риска . . . 128
Стеффен Б., Лангридж Д. Проект МГБП по исследованию северной Евразии: состояние и перспективы . . . 133

Стокс Б.Дж., Гольдаммер Й.-Г.,Фосберг М.А., Конард С.Дж., Валендик Э.Н. Международное сотрудничество при исследовании пожаров в бореальных лесах: рабочая группа МАИБЛ по управляемым палам 143
Страхов В.В. Новые элементы лесной политики России 148
Тепляков В.К. Экологичное управление лесами: от существующего к оптимальному 155
Тейнтер Д.Э. Конфликт между традиционным и современным природопользованием и устойчивое развитие: охота как средство существования на Аляске 161
Чертов О.Г., Комаров А.С. Имитационная модель сосновых, еловых и березовых экосистем 168
Чмыр А.Ф. Проблемы экологически щадящего ведения хозяйства веловых лесах России . . 174
Чумаченко С.И., Сысуев В.В., Паленова М.М., Бредихин М.А., Коротков В.Н. Моделирование динамики древостоев с учетом лесохозяйственного воздействия 184
Швиденко А.З., Веневский В.С., Нильссон С. Обобщенная оценка прироста и отпада в лесах России 191
Шутов И.В., Маслаков Е.Л., Маркова И.А. Лесосырьевые плантации в Европейской части лесной зоны России как вариант лесной политики 197
Якоби Г.С., д'Арриго Р.Д., Джуди Г.П. Изменения климата и их влияние на рост деревьев по данным анализа годичных колец на Аляске 206

УДК 630*001.57:630*5

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ДРЕВОСТОЕВ С УЧЕТОМ ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

С.И.Чумаченко
Московский государственный университет леса, Россия

В.В.Сысуев, М.М.Паленова, М.А.Бредихин, В.Н.Коротков
Всероссийский научно-исследовательский и информационный центр по лесным ресурсам, Россия

В соответствии с Инструкцией по проведению лесоустройства в лесном фонде России [5] один из обязательных пунктов лесоустроительного проектирования – прогноз динамики лесного фонда и лесопользования. При этом указывается, что показатели прогноза динамики лесного фонда должны характеризовать эффективность проектируемых лесохозяйственных мероприятий и лесопользования, их влияние на улучшение лесов, на рациональное использование земель лесного фонда. Следовательно, при разработке прогноза необходимо учитывать последствия этих мероприятий. Следует отметить, что прогноз динамики лесного фонда необходимо разрабатывать на длительный период, вплоть до оборота рубки. Это невозможно сделать без моделей, адекватно отражающих динамику лесных насаждений под воздействием эндогенных и экзогенных, в том числе антропогенных факторов и специальных программных средств, реализующих эти модели.

В настоящее время существует большое количество моделей динамики древостоев. Хорошие обзоры моделей представлены в работах Ф.С.Березовской и др. [2], Г.С.Розенберга [12], А.Н.Четверикова [17].

На рис. 1 представлены фрагмент лесного участка с двумя породами, имеющими разные габитусы и разные показатели поглощения световой энергии кронами (рис. 1а), а также основные способы представления крон деревьев с указанием положения Солнца в существующих моделях (1б...1д).

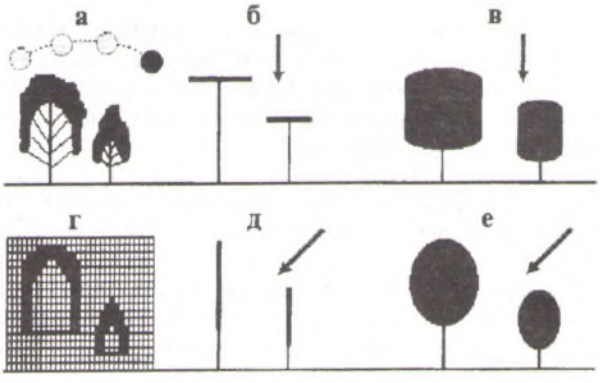


Рис. 1. Представление кроны в модели

В широко известных гэп-моделях (модели "окон", разрывов полога) применяют два способа представления крон. Первый из них [20] – это горизонтальные экраны (рис. 1б). При этом способе крону представляют в виде горизонтального экрана, размещающегося на уровне высоты дерева. Солнечная энергия поглощается кронами дискретно, пропорционально коэффициенту поглощения древесной породы.

Второй способ [21] – когда кроны представляют в виде тел вращения (цилиндры, конусы, эллипсоиды) с равномерным поглощением по всему объему кроны (рис. 1в). Такое представление кроны ближе к реальному. Поглощение света происходит постепенно, по мере углубления в полог насаждения. В обоих случаях прирост конкретного дерева определяется световой энергией, достигающей его вершины.

Гэп-модели характеризуются тем, что источник света размещается вертикально сверху. Основным допущением является то, что конкуренция внутри гэпа ("окна", разрыва полога) существенно превосходит конкуренцию с соседними гэпами. Следовательно, каждый гэп рассматривается независимо от своих соседей. Статистически обработанные результаты моделирования гэпа распространяются на все насаждение в целом.

В ряде работ по моделированию динамики древостоев кроны представляют в виде вертикальных экранов [7]. При этом древостой представляют в виде ряда деревьев, расположенных на одной линии в направлении с севера на юг (рис. 1д). Источник света размещается с южной стороны, таким образом, деревья, расположенные южнее, затеняют крону более северных соседей. Прирост определяется отношением незатененной и затененной части кроны. В другой работе [13] кроны представляют в виде эллипсоидов вращения, однако размещение деревьев остается линейным (рис. 1е).

Во всех упомянутых моделях один из основных факторов, определяющих темпы роста дерева, - доступная фотосинтетически активная радиация (ФАР). По метеорологическим данным [11], для широты Москвы (56° с.ш.) интенсивность солнечной радиации с южного сектора небосвода составляет около 20 %, а с верхнего – только 8 % от суммарной. Следовательно, для получения более точных расчетов светового довольствия необходимо учитывать радиацию, поступающую от Солнца с разных направлений небосвода.

С этой целью была разработана модель, в которой крона представлялась в виде набора прямоугольных параллелепипедов – ячеек (рис. 1г) [9]. Крона состоит из конечного числа ячеек, аппроксимирующих ее. С точки зрения расчета света ячейка – полупрозрачная. Это позволяет имитировать движение Солнца по небосводу с востока на запад с изменением угла его стояния и интенсивности как прямой, так и рассеянной радиации. В рассматриваемой ниже модели используется аналогичный принцип рас-

чета светового довольствия под пологом леса. Эта модель относится к иерархической системе моделей динамики многовидовых разновозрастных древостоев FORUS (Forest of Russia) [19].

Приведем краткое описание модели. Размеры моделируемых лесных массивов составляют до нескольких десятков тысяч гектаров, шаг моделирования – 10 лет. В ходе моделирования прогнозируется изменение таксационных характеристик древостоя (высоты, диаметра, возраста, запаса и др. – до нескольких десятков характеристик) по ярусам, изменение породного и возрастного составов выдела – первичной учетной единицы лесоустройства. Важнейшая особенность описываемой модели – учет пространственного положения выделов и их влияние друг на друга.

Исходной информацией для модели служат данные таксационного банка повыдельной информации и картографического банка планово-картографических материалов лесоустройства, которые для конкретных лесхозов существуют в виде информационных систем (СУБД или ГИС). В результате работы модели формируется аналогичная информация.

Учет биоэкологических процессов в реальных лесных сообществах достигается использованием при имитационном моделировании большого числа справочных баз данных. Ниже перечислены основные из них.

А. Биологические характеристики развития древесных пород. Информация, составившая эти базы данных, была собрана в результате анализа литературы и многолетних натурных исследований [4, 10]. Учтен накопленный опыт моделирования многовидовых разновозрастных насаждений [18]. Для работы модели составлены справочные базы основных биоэкологических параметров древесных пород, отдельно для каждого из этапов онтогенеза деревьев каждой породы. При составлении таких справочных баз основывались на концепции дискретного описания онтогенеза [16]. При моделировании сложных древостоев применение концепции дискретного описания онтогенеза (рис. 2) дает более достоверные результаты по сравнению с фиксацией биологических параметров видов в течение всей продолжительности онтогенеза.

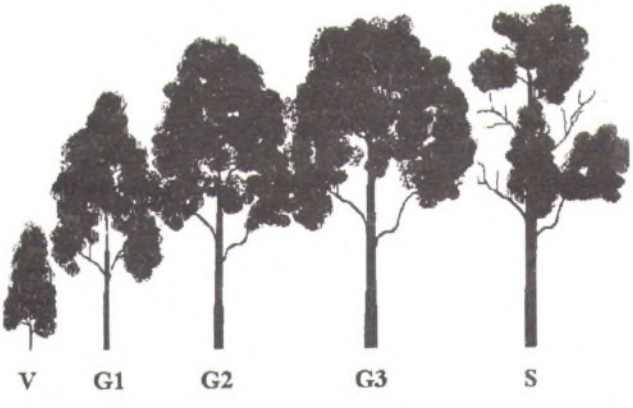


Рис. 2. Онтогенез дерева. Онтогенетическое состояние:

V – виргинильное, G1 – молодое генеративное, G2 – средневозрастное генеративное, G3 – старое генеративное, S – сенильное

Б. Биометрические характеристики кроны. Форма кроны аппроксимируется комбинацией простейших тел вращения: конусом и цилиндром. Особенность модели состоит в том, что в ней учитывается внутреннее пространство кроны (теневой конус), в котором отсутствуют фотосинтезирующие элементы [8]. Сравнение развития древостоев разной полноты показало, что прирост в высоту зависит от светового довольствия зоны активного роста, а не вершины дерева. Зона активного роста – часть кроны дерева, где сосредоточена бóльшая доля ее зеленой фитомассы. В справочной базе эта зона задана положением теневого конуса в кроне дерева.

В. Требовательность к свету [1, 15].

Г. Коэффициент пропускания света кроной [1].

Д. Расстояния переноса семян [14].

Е. Порослевая способность [10, 14].

Ж. Таблицы хода роста чистых насаждений [6], желательно местных или полученных на основе таксационных описаний [3].

Для расчетов темпов роста используют данные о солнечной радиации на заданной широте местности. Дифференцирование светового потока проводится по азимуту, высоте стояния Солнца над горизонтом, по количественному соотношению между прямой и рассеянной радиацией. Кроме того, используют данные о среднем многолетнем количестве солнечных (пасмурных) дней в регионе за вегетационный период, состоянии облачности и запыленности атмосферы по времени светового дня, общем загрязнении воздушной среды, ослабляющем естественные световые факторы.

Имитационная модель динамики многовидовых разновозрастных древостоев состоит из нескольких целевых блоков (рис. 3). Первый этап преобразования исходной пространственной информации - построение плоской равномерной сетки – проводится средствами используемой ГИС (рис. 4). Размер элемента сетки определяется географической широтой местности и максимальной высотой верхнего яруса древостоя. Так, для широты Москвы при высоте древостоя 30 м площадь элемента составляет около 270 м^2. В результате сложная конфигурация каждого выдела в плане аппроксимируется набором элементов. Каждый элемент обладает всеми свойствами выдела, которому он принадлежит. Далее плоский пространственный элемент достраивается до трехмерного объекта – по вертикали делится на ячейки высотой 2.5 м. Ячейка (с точки зрения моделирования) – неделимая минимальная единица трехмерного пространства. Такое представление моделируемого пространства позволяет учитывать как самозатенение, так и затенение от соседних элементов при дневном движении Солнца.

Каждый шаг моделирования начинается с того, что в **блоке "Свет"** определяется прозрачность каждой ячейки с учетом параметров древесных пород, находящихся в ней, а затем рассчитывается световое довольствие (рис. 5). Интегральное значение ФАР в ячейке пространства рассчитывается с учетом самозатенения и светопропускных характеристик сосед-

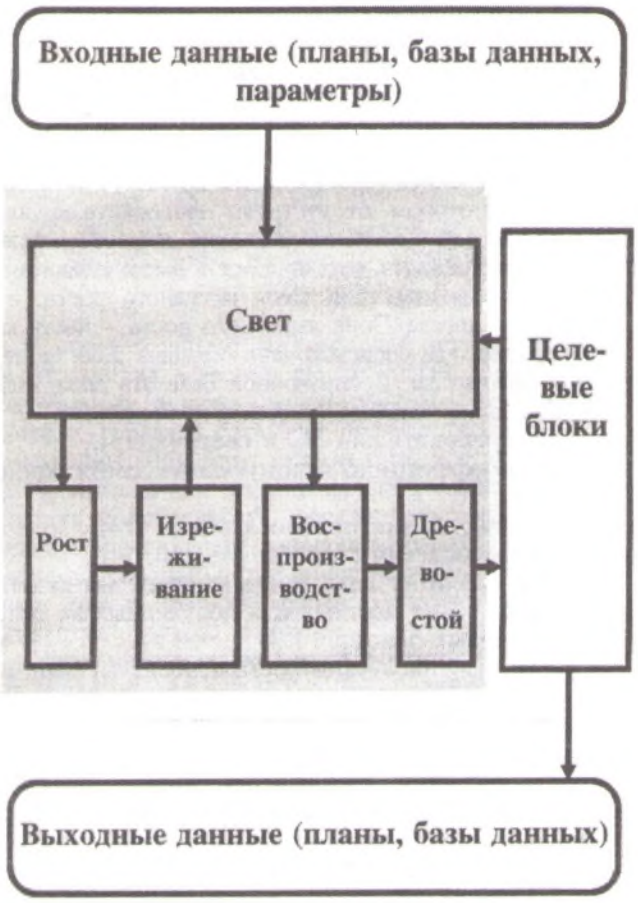


Рис. 3. Схема модели

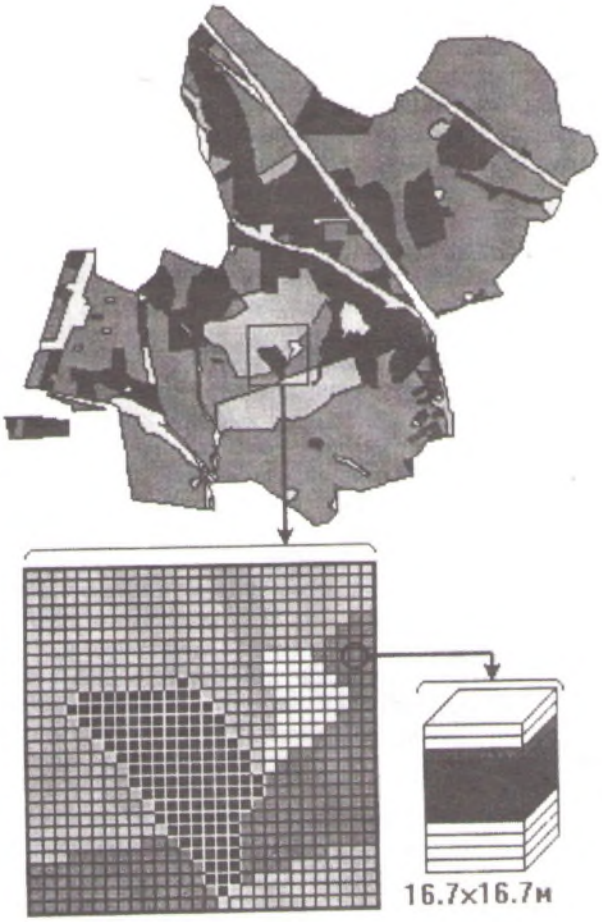
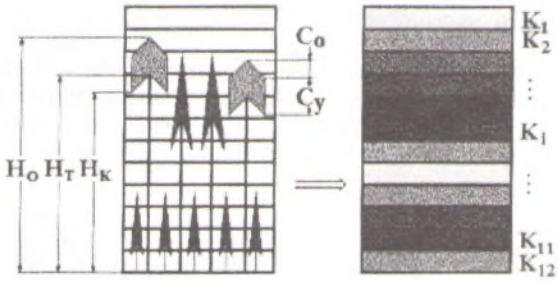


Рис. 4. Подготовка пространственных данных



$$K_i = \sum_j P_j V_{ij} / V_c$$

Рис. 5. Вычисление коэффициента пропускания света K_i: H_o – высота дерева, $H_т$ – высота начала теневого конуса, $H_к$ – высота прикрепления кроны, C_y – цилиндрическая часть кроны, C_o – коническая часть кроны, P_j – прозрачность кроны j-го вида, V_{ij} – объем, занимаемый j-м видом в i-й ячейке, V_c – объем ячейки

них ячеек (рис. 6). Алгоритм расчета светового довольствия подробно описан в работе С.И.Чумаченко [18].

Используя данные о ходе роста древесных пород, входящих в состав насаждений, в **блоке "Прирост"** для каждого элемента рассчитывается текущий прирост по диаметру и высоте, учитывая при этом положение элемента в древостое и световое довольствие. В модели принято, что основной фактор, влияющий на рост деревьев под пологом леса, – световое довольствие. Остальные существенные факторы (такие, как влагообеспеченность и плодородие почвы) меняются менее динамично. Они учитываются при задании класса биологического (потенциально возможного в данных условиях местопроизрастания) бонитета древесной породы для каждого выдела. Методика расчета биологических бонитетов древостоев для тех или иных типов леса в различных условиях местопроизрастания пока разработана недостаточно. В настоящей реализации модели таблица биологических бонитетов преобладающих пород строится экспертом в интерактивном режиме на основе исходных лесотаксационных данных и характеристик рельефа по влагообеспеченности и трофности почв с использованием следующих основных предположений.

Блок "Изреживание" включает два основных варианта поведения модели: эндогенное изреживание, как следствие внутри- и межвидовых конкурентных отношений, и изреживание в результате экзогенных факторов. Эндогенное изреживание моделируется тремя последовательными операциями. Во-первых, модель удаляет породы, резко отстающие в росте. Критерий отмирания – уменьшение

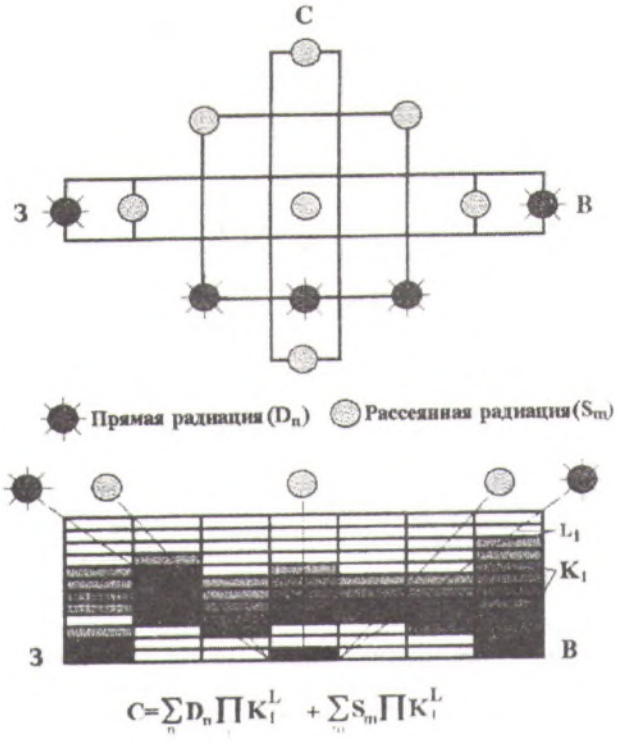


Рис. 6. Солнечная радиация: K_i – коэффициент пропускания света i-й ячейки, L_i – расстояние, пройденное лучом через i-ую ячейку, D_n – прямая радиация, S_m – рассеянная радиация

прироста до уровня 10 % от возможного. Во-вторых, элиминируются породы, достигшие предельного возраста, согласно таблицам хода роста. В-третьих, для поддержания численности особей ниже критических значений (по биологическим параметрам) в блоке "Изреживание" выполняется перерасчет численности в элементе. В каждом ярусе древостоя определяется зона наивысшей конкуренции за пространство – ячейка с максимальной суммой проекций крон, и доступная площадь для роста крон (см. рис. 5). Перераспределение площади в ярусе осуществляется за счет межкроновых просветов и начинается с теневыносливых пород. Тем самым они вытесняют более светолюбивые, изменяя пропорции площадей, занятых каждой породой.

Изреживание в результате экзогенных факторов включает антропогенные, техногенные и прочие внешние воздействия на моделируемые породы. Условия дополнительного изреживания могут подключаться на любом шаге и быть избирательными. В последней версии модели они вынесены за пределы самой модели в блок "Целевые блоки и статистика". После моделирования изреживания осуществляется перерасчет светового довольствия каждой ячейки с одновременным изменением данных о высоте прикрепления кроны для отдельных древесных пород элемента.

Количественная оценка возможности естественного возобновления древесных пород в каждом элементе происходит в **блоке "Воспроизводство"**. Интенсивность появления всходов зависит от степени удаленности элемента от генеративных особей данной древесной породы и световых условий их развития. Моделируется также возможность порослевого возобновления в элементе. Ввиду различной скорости роста и продолжительности онтогенеза порослевых и семенных насаждений расчеты по ним проводятся дифференцировано.

После обработки каждого шага модели элемент содержит характеристики по породному и возрастному составам древостоя и его биометрическим показателям: древесная порода, число стволов, возраст и возрастное состояние, средняя высота дерева и средняя высота прикрепления кроны, средний диаметр ствола, площадь проекции и форма кроны, достигнутый класс бонитета. Кроме того, рассчитываются сведения о запасе и полноте древостоя. Эти данные – основа для работы различных прикладных (внешних к основной модели) блоков. По заданным в модели правилам в **блоке "Целевые блоки и статистика"** организуются выборки, производится статистическая обработка, выполняется сборка элементов в таксационные выделы и подготавливается информация для представления в СУБД и ГИС.

Представленная имитационная модель является открытой, т.е. позволяет добавлять различные дополнительные целевые блоки. Такие блоки (например, моделирующие рубки главного пользования различной конфигурации, рубки ухода и пр.) могут быть подключены на любом шаге работы модели. Модель позволяет имитировать воздействие различных катастрофических факторов (пожар, ветровал и пр.) и лесохозяйственные воздействия (рубки главного пользования, рубки ухода, мероприятия по лесовозобновлению и т.д.).

В качестве примера проверки правильности работы модели ниже приведены результаты моделирования смешанного елово-березового насаждения со следующими начальными характеристиками древостоя (береза/ель): средняя высота – 14.1/7.5 м; средний диаметр – 10/7 см; число стволов – 2000/2368 шт. На рис. 7 показан рост в высоту ели в елово-березовом насаждении по таблицам хода роста смешанных насаждений (темные полосы) и по результатам моделирования (светлые). Средняя ошибка

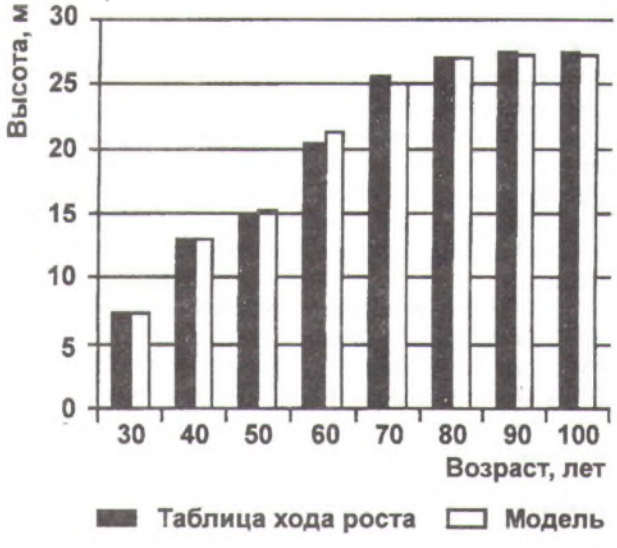


Рис. 7. Верификация модели

составляет 3.4 %, максимальная – 5 %, что позволяет говорить об адекватной работе модели для смешанных насаждений.

Рассмотрим гэп-модели как наиболее широко распространенные в зарубежной лесоводственной практике. В них каждый гэп рассматривается независимо от своих соседей. Это предположение допустимо, если моделируется однородный участок леса или исследуются глобальные (региональные) процессы такие, как: глобальное потепление, массовое поражение вредителями и болезнями и т.д. Однако при моделировании реальных лесных насаждений, представляющих собой пространственно распределенную совокупность разнородных выделов, или при прогнозе последствий лесохозяйственных воздействий таких, как котловинные и чересполосные постепенные и прочие рубки, такое предположение неправомерно. Например, имеется однородный участок леса (лесотаксационный выдел) с порослевым дубовым насаждением 40-летнего возраста и средней высотой 16.6 м. Требуется получить прогноз развития культур дуба, посаженных на площадках после котловинных рубок разной площади и на лесосеках разной ширины. Сравним результаты, полученные с применением описанной модели (имитация движения Солнца по небосводу), и подхода, используемого в гэп-моделях (источник света вверху). Сложность анализа состоит в том, что предлагаемая модель и гэп-модели имеют разные функциональные зависимости роста и гибели особей. С целью избежать методических ошибок была использована предлагаемая модель, настроенная на расположение Солнца сверху и при его движении по небосводу.

При использовании подхода гэп-моделирования все вышеперечисленные комбинации рубок приводят к одному и тому же результату: культуры дуба развиваются в соответствии с заданным биологическим бонитетом (в данном случае I). К 60-летнему возрасту культуры дуба достигают высоты 22.1 м, а окружающий его порослевой дуб – 26 м. Несмотря на значительное превосходство по высоте окружающего древостоя, развитие культур идет без задержек в связи с тем, что источник света расположен сверху и затенение, создаваемое окружением, не оказывает влияния.

Существенно другие результаты получаются, если моделировать перемещение Солнца по небосводу, задав интенсивность его свечения в разные часы суток и учитывая прямую и рассеянную радиацию и окружающий посадки древостой. Так, в окне котловинной рубки размером в один элемент модели (270 м^2) к 60 годам высота дуба составляет 15 м, т.е. ошибка гэп-модели составляет 7.1 м, или 48 % (таблица).

Была проведена серия экспериментов с котловинными рубками разного размера (от 270 до 2500 м^2) и узкими лесосеками разной ширины (от 16 до 80 м) и направления (С-Ю, З-В). С увеличением размеров вырубки ошибка уменьшается (таблица). Речь идет о средней ошибке, так как световые условия развития дуба неодинаковы на разных участках котловинной рубки за счет затенения стеной леса, окружающего посадки, и самозатенения самих посадок (рис. 8). Наибольшей высоты особи дуба достигают в центральной и северной части вырубки, наименьшей – в юго-западной и юго-восточной. Разность между максимальной и минимальной высотами (22.1 и 16.0 м соответственно) составляет 6.1 м при размере котловинной рубки 50×50 м.

Таблица. Варианты вычисления высоты 60-летнего дуба на лесосеках разного размера

Показатель	Гэп-модель, м	Наша модель, м	Разница
Котловинная рубка			
Размер лесосеки:			
1×1 элемент	22.1	15.0	7.1 (48 %)
3×3 элемента	22.1	17.1	5.0 (29 %)
5×5 элементов	22.1	19.9	2.2 (11 %)
Узколесосечная рубка			
Ширина лесосеки:			
1 элемент	22.1	16.2	5.9 (36 %)
3 элемента	22.1	19.6	2.5 (13 %)
5 элементов	22.1	20.3	1.8 (9 %)

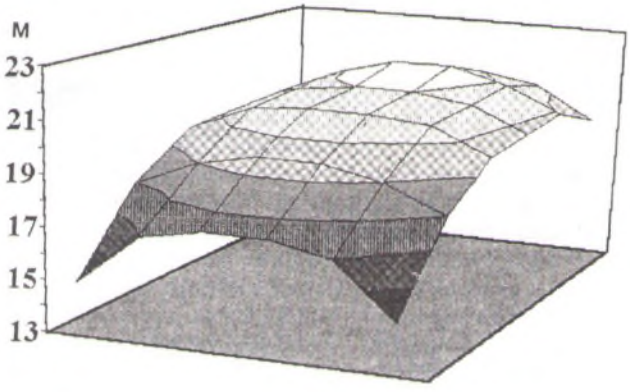


Рис. 8. Высота 60-летнего дуба в окне 100-летнего дубового леса размером 5×5 элементов

При изменении площади котловинных рубок ошибка имеет вид S-образной кривой, т.е. сначала уменьшается медленно до значения 30 % при площади 800 м^2, затем быстро до значения 15 % (площадь 1500 м^2), а затем опять более медленно до значения 10 % (площадь 2500 м^2).

При моделировании рубок узкими лесосеками значение ошибок зависит в большей степени от ширины лесосеки, чем от ее ориентации. Так, при ширине в 16 м средняя ошибка достигает 6 м при ориентации лесосеки З-В и 5.2 м – при С-Ю; при ширине лесосеки 32 м она составляет 2.5 м, а при ширине 48 м – 1.8 м, т.е. мало зависит от ориентации.

Из вышесказанного следует, что область применения классических гэп-моделей ограничена задачами прогноза динамики древостоя при глобальных изменениях окружающей среды. При прогнозировании динамики конкретных лесных насаждений с учетом лесохозяйственных мероприятий (в первую очередь, рубок ухода и несплошнолесосечных рубок

главного пользования) необходим учет пространственной структуры древостоя.

Возможности модели можно увидеть на примере лесного массива Коробовского лесопарка, входящего в состав Природно-исторического заповедника-леспаркхоза "Горки" (рис. 9). Территория его расположена в московско-окском междуречье (юг Московской обл.) в пределах зоны елово-широколиственных лесов. Почвообразующими породами выступают покровные суглинки на карбонатной морене. Площадь модельного объекта около 600 га. На территории представлены типичные для средней полосы Европейской части России леса. Центральная часть массива (30 % площади) занята широколиственными лесами с преобладанием липы и дуба 70...100-летнего возраста, сформировавшимися в результате многократных рубок. По периферии лесного массива расположены березовые леса 60...80-летнего возраста (50 % площади), сформировавшиеся на месте пахотных земель.

Рис. 9. Современное состояние лесного массива (1-й шаг)

На примере вышеописанного объекта моделировали динамику древостоя при двух вариантах лесохозяйственных воздействий: 1) только рубки главного пользования при достижении древостоем возраста спелости; 2) рубки ухода и рубки главного пользования. В результате работы модели получены повыдельные базы данных модельного лесного массива на 8 шагов моделирования (80 лет) по двум вариантам внешних воздействий (рис. 10, 11).

Значительны колебания запасов другого пионерного вида – осины. Резкое возрастание участия осины на 5...7-м шаге моделирования произошло после массовых сплошных рубок на 3-м шаге моделирования. Доля ценных пород – семенного дуба и ели при таком режиме хозяйственного использования остается на очень низком уровне (рис. 10 и 12а).

Второй вариант моделирования отличается тем, что в сценарий добавляется имитация рубок ухода

Для первого варианта моделирования (имитация сплошных рубок) динамика изменения запаса древесины на корню тесно связана с динамикой изменения запаса березовых древостоев (рис. 12а). Наблюдаемое резкое падение запаса березы, которое происходит на 3-м шаге, связано со сплошной рубкой березовых древостоев, достигших возраста спелости. (рис. 12б). Основное отличие этого варианта от предыдущего – плавное возрастание доли ценных пород (семенного дуба и ели) в составе древостоев, начиная с 3-го шага. Следует отметить, что при проведении рубок ухода запасы березы и осины находятся на более низких уровнях, чем в первом варианте. Кроме того, регулярное проведение рубок ухода позволяет обеспечить постоянный объем вырубаемой древесины не менее 50 тыс. м^3 за каждый шаг моделирования (рис. 11 и 12б).

Рис. 10. Результаты моделирования рубок главного пользования (8-й шаг – 80 лет)

Рис. 11. Результаты моделирования рубок ухода (8-й шаг – 80 лет)

Представленные результаты работы модели показали адекватное отражение роста и развития насаждений при разных вариантах лесохозяйственных воздействий. Модель правильно реагирует на изменение сценария лесохозяйственных воздействий. При выполнении в натуре объема лесохозяйственных работ (рубки ухода и рубки главного пользования) в результате моделирования полного их цикла в лесном массиве происходит увеличение доли ценных пород. Возможность добавления целевых блоков позволяет существенно расширить возможности модели. Так, изменяя на любом шаге пространственное размеще-

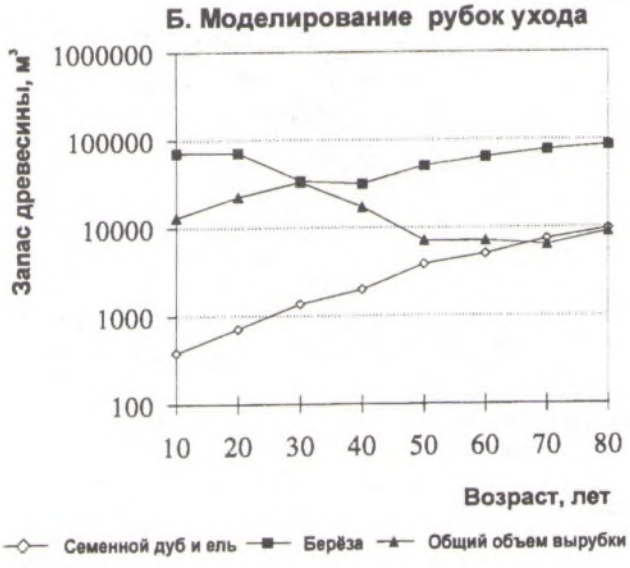


Рис. 12. Изменение запасов древостоев по шагам моделирования при разных сценариях лесохозяйственных воздействий

ние биологических бонитетов, можно моделировать влияние загрязнения окружающей среды, подтопление, нарушение почвенного покрова, влияние мелиоративных мероприятий и пр.

Список литературы

1. *Алексеев В.А.* Световой режим леса. Л.: Наука, 1975. 228 с.

2. *Березовская Ф.С., Карев Г.П., Швиденко А.З.* Моделирование динамики древостоев: эколого-физиологический подход. М.: ВНИИЦлесресурс, 1991. 83 с.

3. *Бредихин М.А.* Динамическая модель роста древостоя//Математическое моделирование в биогеоценологии. Петрозаводск: КФ АН СССР, 1985. С. 36...37.

4. *Восточноевропейские* широколиственные леса /Под ред. О.В.Смирновой. М.: Наука, 1994. 364 с.

5. *Инструкция* по проведению лесоустройства в лесном фонде России. Ч.2. М.: ВНИИЦлесресурс, 1995. 112 с.

6. *Козловский В.Б., Павлов В.М.* Ход роста основных лесообразующих пород СССР. М.: Лесн. пром-сть, 1967. 328 с.

7. *Корзухин М.Д., Тер-Микаэлян М.Т.* Модель многовидового фитоценоза при конкуренции особей за свет//Исследования по математической популяционной экологии. Владивосток, 1983. С. 100...115.

8. *Носова Л.М., Французов А.В., Чумаченко С.И.* Моделирование структуры фитомассы древостоев лесных экосистем//Проблемы мониторинга и моделирования динамики лесных экосистем. М.: Экос-Информ, 1995. С. 224...251.

9. *Попадюк Р.В., Чумаченко С.И.* Имитационная биоэкологическая модель развития многовидового разновозрастного древостоя//Биолог. науки. 1991. № 8(332). С. 67...78.

10. *Популяционная* организация растительного покрова лесных территорий (на примере широколиственных лесов)/О.В.Смирнова, А.А.Чистякова, Р.В. Попадюк и др. Пущино: Науч. центр биол. исслед. АН СССР, 1990. 92 с.

11. *Радиационные* характеристики атмосферы и земной поверхности. Л.: Гидрометеоиздат, 1969. 564 с.

12. *Розенберг Г.С.* Модели в фитоценологии. М.: Наука, 1984. 240 с.

13. *Санковский А.Г., Татаринов Ф.А.* Моделирование динамики популяции древесных растений//Математическое моделирование популяций растений и фитоценозов. М.: Наука, 1990. С. 86...89.

14. *Удра И.Ф.* Моделирование пространственно-временной структуры популяций растения на основе особенностей расселения древесных пород//Математическое моделирование популяций растений и фитоценозов. М.: Наука, 1990. С. 104...105.

15. *Цельникер Ю.Л.* Физиологические основы теневыносливости древесных растений. М.: Наука, 1978. 212 с.

16. *Ценопопуляции* растений (очерки популяционной биологии). М.: Наука, 1988. 183 с.

17. *Четвериков А.Н.* Моделирование изреживания древостоев. Ч.1. Плотность одновозрастных однопородных древостоев как функция возраста, ее связь с индивидуальными размерами деревьев. Препринт. Петрозаводск, 1988. 26 с.

18. *Чумаченко С.И.* Базовая модель динамики многовидового разновозрастного лесного ценоза//Науч. тр. Моск. лесотехн. ин-та/Вопросы экологии и моделирования лесных экосистем. Вып. 248. М.: МЛТИ, 1993. С. 147...180.

19. *Чумаченко С.И.* Иерархическая система моделирования лесных объектов FORUS//Всерос. научно-техн. конф. "Охрана лесных экосистем и рациональное использование лесных ресурсов". Тез. докладов. Т.4. М.: МГУлеса. 1994. С. 26.

20. *Botkin D.B., Janack J.F., Wallis J.R.* Some ecological consequence of a computer model of forest growth//Journal of Ecol., 1972. Vol. 60. N 5. P.849...872.

21. *Leemans R., Prentice F.* FORSKA a general forest succession model. Uppsala, 1989. 60 p.