

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ЦЕНТР ПО ПРОБЛЕМАМ ЭКОЛОГИИ
И ПРОДУКТИВНОСТИ ЛЕСОВ

МОНИТОРИНГ БИОЛОГИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ ЛЕСОВ РОССИИ

Методология и методы



МОСКВА НАУКА 2008

УДК 581
ББК 28.5
М77

Ответственный редактор
академик *А.С. Исаев*

Рецензенты:

доктор биологических наук *Д.Г. Замолодчиков*,
член-корреспондент РАН *Л.П. Рысин*

Мониторинг биологического разнообразия лесов России: методология и методы /
[Отв. ред. *А.С. Исаев*] ; Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов
РАН. – М. : Наука, 2008. – 453 с. – ISBN 978-5-02-035751-8.

В книге представлена методологическая основа мониторинга биоразнообразия бореальных лесов России. Она базируется на концептуальном подходе мониторинга биоразнообразия с учетом пространственно-временной динамики лесообразовательного процесса и современного состояния лесов. Представлены оптимальные оценочные процедуры биоразнообразия лесных экосистем, даны результаты инвентаризации их зонального типологического разнообразия. Изложены принципы организации и тематическое содержание ГИС-мониторинга.

Для экологов, геоботаников, лесоводов, преподавателей и студентов высших учебных заведений.

По сети “Академкнига”

ISBN 978-5-02-035751-8

© Центр по проблемам экологии
и продуктивности лесов
Российской академии наук, 2008
© Редакционно-издательское
оформление. Издательство “Наука”,
2008

Общий результат прогноза сопряженной динамики древостоев, почвы, типов леса и оценок биоразнообразия, основанный на эколого-ценотических группах сосудистых растений, вполне согласуется с теоретическими представлениями и натурными наблюдениями как сукцессионной динамики лесных экосистем, так и последствий лесохозяйственных воздействий (Оценка и сохранение..., 2000; Восточноевропейские леса..., 2004).

Предложенный подход обладает большими возможностями для дальнейшего развития. Во-первых, возможно более детальное моделирование динамики напочвенного покрова за счет связи ЭЦГ с экосистемными параметрами на основе данных о биоэкологических свойствах видов, входящих в ЭЦГ – требовательности к свету, влажности, богатству почв, приуроченности к различным вариантам субстрата (валеж разных стадий разложения, подстилка различного состава) и др. Во-вторых, возможно принципиальное развитие модели динамики напочвенного покрова как блока системы моделей EFIMOD при переходе к моделированию динамики ЭЦГ внутри выдела с учетом неоднородности среды – освещенности, влажности лесной подстилки, влажности валежа, доступности элементов почвенного питания. Это можно сделать, проигрывая модель для каждой ячейки квадратной решетки (0,5 × 0,5 м). Это увеличит время расчета модели, но позволит определять набор ЭЦГ внутри выдела, уменьшит зависимость от точности исходных данных, увеличит чувствительность модели к экологическим и ценотическим параметрам.

7.3. ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ЛЕСНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ

Устойчивое управление лесами стало приоритетной концепцией лесной политики на национальном и международном уровнях, отраженной в Экологической доктрине РФ и в документах Форума ООН по лесам, Международной конференции министров лесного хозяйства по защите и охране лесов Европы, Всемирного саммита в Йоханнесбурге по устойчивому развитию (Montréal Process..., 2003; State of Europe's..., 2003 и др.). Реализация устойчивого управления лесами должна обеспечить долговременное экономически выгодное взаимоотношение человека и лесных экосистем, т.е. сохранить высокую продуктивность лесных экосистем, возможность возобновления и оптимальный уровень биоразнообразия на протяжении жизни многих поколений деревьев.

Разработку методов устойчивого, экологически грамотного природопользования лесных территорий в современных условиях трудно представить вне пространства современных информационных технологий. Электронные базы данных и геоинформационные системы становятся обычным инструментом как исследователей, так и практиков лесного хозяйства. Следующим шагом в этом направлении будет повсеместное внедрение математического моделирования для планирования ведения лесного хозяйства и природопользования, для поддержки принятия решений. Построение прогнозов развития лесных экосистем при разных вариантах ведения лесного хозяйства и лесопользования особенно актуально, поскольку время жизни

моделируемых объектов и характерные времена отклика на антропогенные воздействия (принимаемые решения) превышают собственные времена субъекта воздействия – человека. Математическое моделирование является одним из важнейших методов разработки научных основ управления лесными ресурсами и оптимизации лесопользования; инструментом углубленного исследования взаимосвязи между структурой, биологическим разнообразием и функционированием лесных экосистем и их элементов; средством разработки стратегии ведения лесного хозяйства и лесопользования с учетом региональных природно-климатических условий и типов леса.

7.3.1. FORRUS-S – модель прогноза динамики разновозрастных смешанных насаждений

В настоящей работе была использована оригинальная имитационная модель прогноза динамики разновозрастных смешанных насаждений (Чумаченко, 1992; Восточноевропейские..., 1994) и разработанный на ее основе комплекс программ FORRUS-S (FORest of RUSsia-Stand), который предназначен для имитационного моделирования и анализа динамических процессов, протекающих в лесных массивах (Чумаченко, 1993; Чумаченко и др., 2001, 2004; Chumachenko et al., 1996, 1997, 2003). Предлагаемый подход отличается от других трехмерным пространством моделируемых элементов, реализован в технике эколого-физиологического имитационного моделирования. FORRUS-S интегрирует уникальный опыт лесоведения, фитоценологии и популяционной биологии, накопленный к настоящему времени в России: в своих расчетах модель учитывает закономерности изменения основных биоэкологических параметров видов деревьев и кустарников в течение их онтогенеза, принимает в расчет пространственное положение деревьев и их групп, пространственную неоднородность светового поля (доступной фотосинтетически активной радиации), гетерогенность почвенных условий роста и развития особей разных видов в условиях их конкуренции за ресурсы. В лесных насаждениях моделируются процессы роста, конкуренции, гибели и возобновления видов древесной и кустарниковой растительности, лесохозяйственные воздействия и лесопользование.

Для разработки стратегии природопользования в FORRUS-S реализована технология сценарного моделирования, что позволяет учитывать разные варианты ограничений лесохозяйственного, экономического и экологического характера. В результате вычислительных экспериментов формируются долгосрочные прогнозы динамики насаждений. Интеграция GIS-технологий и сценарного моделирования прогнозного комплекса FORRUS-S обеспечивает построение прогноза с учетом функционального зонирования территорий. Для каждой из выделенных зон (например, участков плантационного лесоразведения, эксплуатационных лесов, заповедных зон, зон с ограниченным лесопользованием, водоохраных зон, зеленых коридоров и пр.) может быть применен свой сценарий моделирования. Таким образом, в FORRUS-S реализован актуальный в настоящее время ландшафтный подход к планированию природопользования. Сценарное моделирование позволяет сравнить влияние различных вариантов ведения лесного хозяйства и лесопользования на

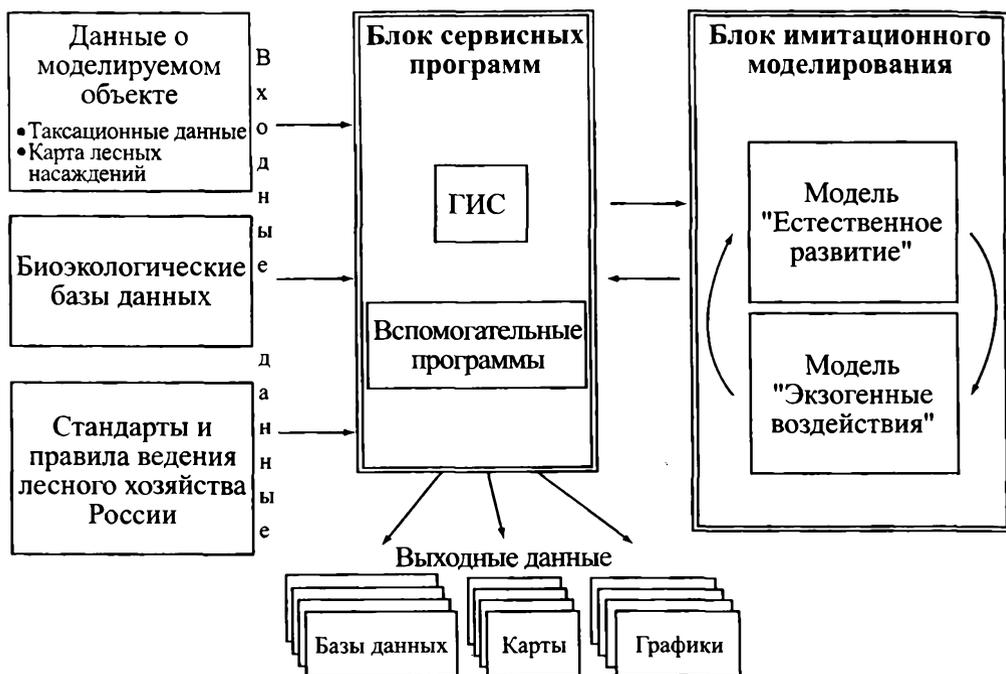


Рис. 57. Структура прогнозного комплекса FORRUS-S

долгосрочное развитие лесных экосистем с точки зрения динамики их продукционных, экономических и экологических ресурсов.

Программно FORRUS-S состоит из отдельных блоков: «Входные данные», «Сервисные программы», «Моделирование» (рис. 57). *Входными данными* являются стандартные повидельные таксационные описания и планы лесных насаждений модельной территории. *Сервисные программы* преобразуют исходную двухмерную «картинку» данных (планы лесонасаждений и таксационные описания) в трехмерную (вклейка, рис. Ц22). Преобразование исходной информации происходит в несколько этапов: 1) на планы лесонасаждений средствами используемой ГИС накладывается равномерная сетка, тем самым сложная конфигурация выделов в плане аппроксимируется набором прямоугольных пространственных элементов (16,7 × 16,7 м); 2) затем плоские пространственные элементы достраиваются по вертикали прямоугольными параллелепипедами – ячейками высотой по 2,5 м, таким образом элементы моделирования становятся трехмерными; 3) каждому элементу присваиваются свойства выдела, которому он принадлежит, а именно, породный и возрастной состав, средние высоты и диаметры для каждого элемента леса, запас, полнота, тип лесорастительных условий (ТЛУ) и пр. Блок «Моделирование» FORRUS-S состоит из двух моделей: «Естественное развитие» и «Экзогенные воздействия».

«Естественное развитие»

Модель естественного развития насаждений имитирует существенные процессы, протекающие в лесных насаждениях: распространение семян,

процессы роста, конкуренции, спонтанное изреживание и естественное возобновление древостоя. В основе работы модели лежит повторяющийся пересчет текущего прироста (по диаметру и высоте) и изреживания насаждений в терминах трехмерной структуры крон. Вычисления проводятся применительно к отдельным элементам леса многовидового разновозрастного древостоя (элемент леса – группа деревьев одного вида, одного онтогенетического состояния). Прирост (увеличение запаса) определяется условиями локального освещения зоны активного роста крон с учетом полноты насаждения, взаимодействия видов и доступности ресурсов экотопа (воды и азота). Модель включает в себя четыре субмодели: «Свет», «Прирост», «Изреживание» и «Естественное возобновление». В ходе моделирования прогнозируются изменение средних таксационных характеристик насаждений (высоты, диаметра, возраста, запаса и др.), изменение породного и возрастного состава.

Известно, что основными лимитирующими факторами развития лесных насаждений являются фотосинтетически активная радиация (ФАР), доступный азот и вода. Поскольку комплекс программ FORRUS-S предназначен для моделирования динамики лесных насаждений зоны хвойно-широколиственных лесов и южной/средней тайги, в модели ведущим фактором, определяющим развитие насаждений, является ФАР. Другие существенные факторы – доступный азот и влажность почвы – учитываются отдельно для каждого элемента моделирования, поскольку каждый из них после трансформации исходных данных обладает свойствами ГЛУ соответствующего выдела.

Каждый шаг работы Модели естественного развития начинается с расчета световых условий произрастания насаждений. Эти расчеты проводят с помощью *субмодели «Свет»*, которая с учетом полноты и породно-возрастного состава насаждений определяет доступную ФАР для каждой ячейки каждого элемента моделируемого пространства. Значение доступной ФАР зависит от положения ячейки в древостое (в модельном представлении – от свойства соседних ячеек). Далее с учетом полученных данных о световых условиях *субмодель «Прирост»* для каждого элемента моделирования определяет текущий прирост насаждений: прирост в высоту, по диаметру и прочие основные характеристики древостоя. Полученные результаты обрабатываются с помощью *субмодели «Изреживание»*, которая отвечает за моделирование естественного изреживания древостоя. Результаты моделирования опять просчитывает *субмодель «Свет»*, определяя новые световые условия моделируемого пространства. Далее *субмодель «Естественное возобновление»* вычисляет параметры естественного возобновления, которое должно произойти в насаждении. На этом завершается один шаг работы Модели естественного развития. Шаг работы модели составляет 5 лет. Площадь моделирования может составлять до нескольких десятков тысяч гектаров.

После каждого шага моделирования формируется таблица данных по породному и возрастному составу древостоя и его биометрическим показателям для всех выделов моделируемого объекта. Для каждого элемента леса на выделе рассчитываются число стволов, возраст, средняя высота дерева и средняя высота прикрепления кроны, средний диаметр ствола, площадь проекции и форма кроны, достигнутый бонитет. Кроме того, определяются

запас и полнота насаждения. Эти данные являются основой для работы модели «Экзогенные воздействия» и сервисных программ.

«Экзогенные воздействия»

Модель экзогенных воздействий дополняет комплекс программ FORRUS-S возможностями решения прикладных задач. Она позволяет имитировать изреживание лесных насаждений в результате воздействия экзогенных факторов, включая антропогенные (в том числе лесохозяйственные), техногенные и прочие внешние воздействия. Имитация внешних воздействий может быть подключена на любом шаге моделирования и может быть избирательной к элементам моделируемого пространства. С практической точки зрения наибольший интерес представляет моделирование различных режимов лесопользования, лесохозяйственных мероприятий, содействия естественному возобновлению леса и посадки лесных культур. В настоящее время разработаны алгоритмы моделирования следующих лесохозяйственных воздействий и лесопользования: рубки главного пользования (сплошные, постепенные, выборочные), рубки ухода (осветление, прочистка, прореживание, проходная, рубки обновления и переформирования), лесовосстановление (создание лесных культур, содействие естественному возобновлению, уход за молодыми посадками).

Основными документами, положенными в основу разработки алгоритмов моделирования лесохозяйственных мероприятий и лесопользования являются действующие в настоящее время «Наставление по рубкам ухода в равнинных лесах европейской части России» (М., 1994), «Основные положения по рубкам ухода в лесах России» (1993), «Основные положения по рубкам главного пользования в лесах Российской Федерации» (1994). На основе этих нормативов и рекомендаций разработаны алгоритмы перечисленных выше мероприятий.

Параметры моделирования лесопользования и лесохозяйственных воздействий задаются в FORRUS-S не только лесохозяйственными, но и экономическими критериями, прежде всего, рентной стоимостью лесосырьевых ресурсов, которая характеризует хозяйственную ценность лесов. Рентная стоимость древесного запаса на таксационном выделе определяется как сумма стволовых рент. Исходной информацией служит распределение стволов по породам, ступеням толщины и качеству (деловые, дровяные). При расчетах считается, что таксационный выдел (насаждение) экономически доступен, если рентная стоимость его древесного запаса больше нуля. Лесопользование на участке лесного фонда лесничества или лесхоза экономически устойчиво, если запас экономически доступных древесных ресурсов на протяжении долгого времени не убывает. Стволовые ренты – основа для определения экономически эффективного способа рубки леса. Совокупность стволов на выделе с положительной рентой образует эффективный запас насаждения. Сравнение эффективного запаса с общим (ликвидным) дает основание судить о целесообразности рубки.

На первом шаге работы программ блока «Лесохозяйственные воздействия и лесопользование» происходит отбор выделов в рубки согласно заданному сценарию. При назначении воздействий программа сначала анализирует три основных признака насаждений: формулу древостоя 1-го яруса, воз-

раст главной породы, полноту древостоя 1-го яруса. Затем отбираются насаждения, доходность которых выше заданной минимально допустимой доходности насаждений, отводимых в рубки промежуточного или главного пользования. На втором шаге программы блока имитируют само воздействие. Например, при моделировании рубок ухода происходит удаление малоценных пород для поддержания оптимальной для развития древостоев полноты. Программы блока выполняют расчеты согласно следующим правилам.

1. Если полнота древостоя с определенным классом возраста и формулой древостоя превосходит заданную полноту, то на выделе планируется тот или иной вид рубки, в результате которой формируется насаждение требуемой полноты:

- а) осветления и прочистки моделируются, если полнота насаждения превышает критическую (заданную) полноту более чем на 0,2 единицы (согласно действующим нормативам по рубкам ухода);
- б) прореживания и проходные рубки моделируются, если полнота насаждения превышает критическую (заданную) полноту более чем на 0,1 единицы (согласно действующим нормативам по рубкам ухода).

2. Снижение полноты в смешанных насаждениях происходит за счет наименее ценных пород.

3. При достижении возраста спелости насаждения назначаются в рубку главного пользования.

4. При назначении рубок главного пользования программа учитывает наличие подроста ценных пород. При наличии достаточного количества подроста ценных пород на выделе возможно моделирование рубок с сохранением подроста, а при недостаточном возобновлении сохранения подроста не происходит.

5. Назначение лесокультурных мероприятий основано на анализе возобновления ценных пород. При недостаточном количестве подроста ценных пород на вырубках моделируется посадка лесных культур. Подбор пород для лесовозобновления производится в соответствии с ТЛУ путем задания перечня древесных пород, предназначенных для создания культур и количества саженцев (сеянцев) на гектар (возможно моделирование посадки смешанных насаждений).

6. Все выделы, выбранные программами блока лесохозяйственных воздействий и лесопользования, далее проходят проверку по экономическим критериям. На основе стволовых рент и таксационной характеристики выдела (распределения стволов по породам, ступеням толщины и качеству) проводится расчет рентной стоимости древостоя либо для главной рубки, либо для рубки ухода, соответственно. Назначение в рубку происходит, если рентная стоимость выбираемого древесного запаса превышает заданный уровень. Если по сценарию этот уровень больше нуля, то проводятся только доходные рубки (это требование не распространяется на ухода в молодняках).

7. По всем выделам, рубка которых целесообразна по лесохозяйственным и экономическим критериям, рассчитывается суммарный древесный запас (отдельно по главному и промежуточному пользованию), который сравнивается с заданным по сценарию максимально допустимым разме-

ром пользования по конкретному объекту моделирования. В случае превышения его в рубку случайным отбором назначается только часть выделов.

Таким образом, программы блока лесохозяйственных воздействий и лесопользования имитируют рубки ухода и рубки главного пользования, формируют информацию о вырубаемых запасах согласно определенному пользователем сценарию. Каждый сценарий задается в модели отдельно специальными матрицами.

7.3.2. Верификация модели FORRUS-S

Для верификации модели FORRUS-S был проведен ряд вычислительных экспериментов. В первом эксперименте проводилось прогнозирование хода роста смешанных березово-еловых насаждений в течение 70 лет (в возрасте с 30 до 100 лет) и сравнение с таблицами хода роста смешанных насаждений (Козловский, Павлов, 1967). Средняя погрешность расчета высоты ели составила 3,4%, максимальная 5%. Аналогичные значения погрешности получены и для других параметров древостоя.

Второй эксперимент был проведен на основе натуральных данных 1955 г. о насаждениях Приокско-Тerrasного заповедника (ПТЗ). Верификация модели заключалась в сравнении прогнозируемых значений общего запаса и запаса по основным породам с данными таксации 1968, 1980 и 1999/2000 годов. Анализ результатов показал, что погрешность результатов моделирования не превышает 5% для общего запаса (рис. 58), 10% для запаса сосны, березы, осины, 15% для ели и дуба.



Рис. 58. Верификация модели: моделирование динамики общего запаса и контрольные годы таксации

Следующим экспериментом было сравнение прогнозных и натуральных данных для средних диаметров и высот по классам возрастов для основных лесобразующих пород насаждений заповедника. Эксперименты базировались на таксационных данных лесостроительств 1955, 1968 и 1980 годов. Моделировалось естественное развитие насаждений с 1955 г. по 2000 г. (1 вариант), с 1968 г. по 2000 г. (вариант 2) и с 1980 г. по 2000 г. (вариант 3). Полученные прогнозные данные сравнивали с данными таксации 1999/2000 года. На рис. 59 приведены результаты прогноза средних значений высот и диаметров сосны.

В целом отмечено хорошее соответствие результатов моделирования: отклонения прогнозных данных от натуральных для всех возрастных групп, кроме перестойных насаждений, не превысили 10–15%. Аналогичные результаты получены для других древесных пород.

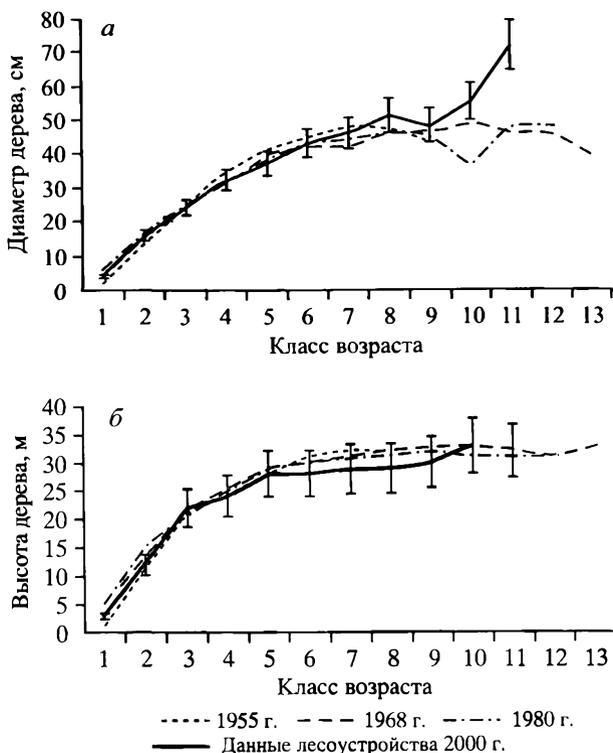


Рис. 59. Верификация модели на основе сравнения результатов моделирования на основе таксационных данных и данных лесоустройства Приокско-Террасного заповедника 2000 г. по распределению деревьев по диаметру (а) и высоте (б) в насаждениях сосны по классам возраста

7.3.3. Сценарное прогнозное моделирование как инструмент лесоправления

Модельный объект – леса Республики Коми

На территории Республики Коми сохранились крупные массивы малонарушенных лесов (Atlas of..., 2002), часть которых охраняется на территории Печоро-Илычского заповедника и национального парка «Югыд-Ва», а также включены в список Всемирного природного и культурного наследия ЮНЕСКО – «Девственные леса Коми». Таежным лесам Республики Коми принадлежит важная биосферная роль: они выполняют климаторегулирующие, водоохраные, почвозащитные и другие природоохраные функции. Около 40% общей площади гослесфонда в Республике Коми отнесено к особым категориям защитности.

За последние десятилетия лесные экосистемы Республики Коми подвергались все возрастающему антропогенному прессу. Сплошными концентрированными рубками за 40–50 лет пройдено 5,5 млн гектаров, около 300 тыс. гектаров лесной площади передано из гослесфонда промышленным и хозяйственным предприятиям и организациям (Леса Республики Коми, 1999). Значительные покрытые лесом площади отводятся для длитель-

ного пользования под газо- и нефтепроводы, прокладку ЛЭП и транспортных путей. Все это неизбежно приводит к сокращению площади малонарушенных лесов, а также к истощению лесных ресурсов. Только при организации экологически ответственного ведения лесного хозяйства и лесопользования в соответствии с принципами устойчивого развития могут быть сохранены леса республики.

Поскольку до сих пор не существует общепризнанных экологически и экономически обоснованных решений по применению экстенсивной и интенсивной форм эксплуатации и воспроизводства лесов, была поставлена задача оценить влияние альтернативных вариантов ведения лесного хозяйства и лесопользования на динамику продукционных и экологических характеристик лесных насаждений на примере одного из лесхозов Республики Коми.

Для проведения компьютерных экспериментов был выбран Корткеросский лесхоз, расположенный в Вычегодско-Сысольском округе еловых, сосновых, березовых и осиновых лесов (Леса Республики Коми, 1999). Почвообразующими породами на большей части округа служат моренные суглинки и двучленные породы – маломощные (40–60 см), слабогалечниковые супеси на суглинистой морене. На дренированных приречных склонах и расчлененных участках междуречий произрастают зеленомошно-черничные ельники с участием пихты и вторичные осиновые и березовые леса. Слабо дренированные равнинные междуречья с застойным водным режимом заняты долгомошно-голубичными, сфагново-долгомошными ельниками с участием сосны и березы. Центральные части плоских водоразделов заняты сфагновыми болотами и сфагновыми сосновыми рединами с торфяными и торфяно-глеевыми почвами. Болота занимают около 30% территории. На древнеаллювиальных борových террасах рек Вычегды и Сысолы, достигающих в ширину нескольких километров, преобладают зеленомошно-лишайниковые и лишайниковые сосняки с железистыми подзолами. В понижениях в сочетании с ними развиты сфагново-зеленомошные сосняки с торфянисто-подзолисто-глееватыми почвами.

Растительный покров округа сильно изменен в результате хозяйственной деятельности человека, в связи с этим значительная часть его территории занята производными елово-березовыми, елово-сосновыми, березово-сосновыми, березовыми и осиновыми лесами с травяным, травяно-зеленомошным, а в старовозрастных сообществах – зеленомошным покровом.

Для описываемого компьютерного эксперимента территория Корткеросского лесхоза была разделена на три категории: эксплуатационные леса, защитные полосы вдоль рек, защитные полосы вдоль дорог. Таким образом, было проведено построение прогноза и оценка динамики состояния лесного фонда с учетом функционального зонирования территории лесхоза.

Сценарии ведения лесного хозяйства и лесопользования

Метод сценарного моделирования позволил сформировать четыре варианта (сценария) ведения лесного хозяйства и лесопользования, имитировать запланированные воздействия и получить соответствующие варианты прогнозных данных развития насаждений. При анализе результатов моделирования планировали получить системное обоснование размера пользования и способа воспроизводства лесов путем оценки продукционных, экономических и экологических ресурсов насаждений. В рамках выполненного исследования разработаны сценарии *естественного развития* (1), *экстенсивного* (2) и *интенсивного* (3) ведения лесного хозяйства и лесопользования. Для сценария 3 моделирование проводилось по двум вариантам: проведение рубок главного пользования с сохранением (сценарий 3а) и без сохранения подроста (сценарий 3б). Ставилось условие, что рубки главного и промежуточного пользования назначаются только в случае, если рентная стоимость насаждений выдела больше нуля. Принципиальным отличием сценария 3 от других является создание лесных культур сосны на территориях, пройденных рубками главного пользования в связи с тем, что в настоящее время сосновые насаждения преобладают по площади на территории Корткеросского лесхоза и сосна в этих условиях формирует более продуктивные насаждения, чем ель.

Программа, имитирующая лесохозяйственные воздействия, работает со специальными матрицами, параметрами которых служат формула древостоя, возраст, полнота насаждений. Результатом работы программы стало определение для каждого выдела необходимости, очередности и вида рубки, а также ее имитация. Согласно действующим нормативам матрицы сформированы для разных классов бонитетов: для бонитетов 1б – 3, для бонитета 4 и для бонитетов 5 – 5б. Расчетная лесосека по Корткеросскому лесничеству составляет 40 000 м³ в год. Эта величина принята за верхний предел допустимого размера рубки для всех сценариев с лесопользованием.

При моделировании создания культур программа предварительно проверяет наличие на выделе подроста и его количество (оценка естественного возобновления на вырубке). В случае моделирования рубок главного пользования с сохранением подроста (сценарий 3а) на выделе сохраняется естественный подрост. Культуры сосны создаются на всех вырубках, которые не имеют достаточного естественного возобновления. Естественные потери культур моделируют как гибель 10% площадей культур за первые 5 лет после их создания.

Сервисные программы прогнозного комплекса обеспечили возможность применения различных сценариев к разным функциональным зонам модельного объекта: для выделов защитных полос вдоль рек и защитных полос вдоль дорог в наших расчетах был принят сценарий естественного развития насаждений.

Анализ полученных для разных сценариев прогнозных баз модельного объекта Корткеросское лесничество Корткеросского лесхоза позволил в долгосрочной перспективе на развитие насаждений оценить влияние

- экстенсивного и интенсивного способов ведения лесного хозяйства и лесопользования;

- сплошных рубок с сохранением и без сохранения подроста;
- работ по созданию культур сосны на вырубках.

Результаты сценарного моделирования: сравнительная оценка изменения продукционных и экологических свойств насаждений Корткеросского лесхоза

Сценарное долгосрочное моделирование позволяет проводить сравнительную оценку изменения как экологических, так и продукционных и экономических характеристик лесных насаждений при разных вариантах природопользования. Ведение лесного хозяйства без учета экологических параметров лесных экосистем может привести к утрате необходимых в биологическом круговороте элементов лесной среды (старых деревьев, сухостоя, валежа и пр.). Эти изменения, в свою очередь, влекут за собой исчезновение целого ряда звеньев трофической цепи – многих видов растений, грибов, животных. Нарушение экосистемных свойств лесных насаждений ведет к утрате их продукционных характеристик и устойчивости.

Результаты моделирования средствами FORRUS-S наглядно демонстрируют влияние разных способов ведения лесного хозяйства и лесопользования на компоненты биоразнообразия лесных насаждений: экосистемное, видовое и структурное разнообразие (Паленова и др., 2001; 2003), количество старых деревьев и валежа (Kogotkov et al., 2005). Ниже приведены некоторые результаты моделирования, которые демонстрируют влияние лесопользования и лесохозяйственных воздействий на состояние насаждений Корткеросского лесничества.

Прогноз изменения породного состава насаждений при естественном развитии сукцессий (сценарий 1) подтвердил ранее высказанное мнение (Восточноевропейские..., 2004) о формировании в условиях заповедного

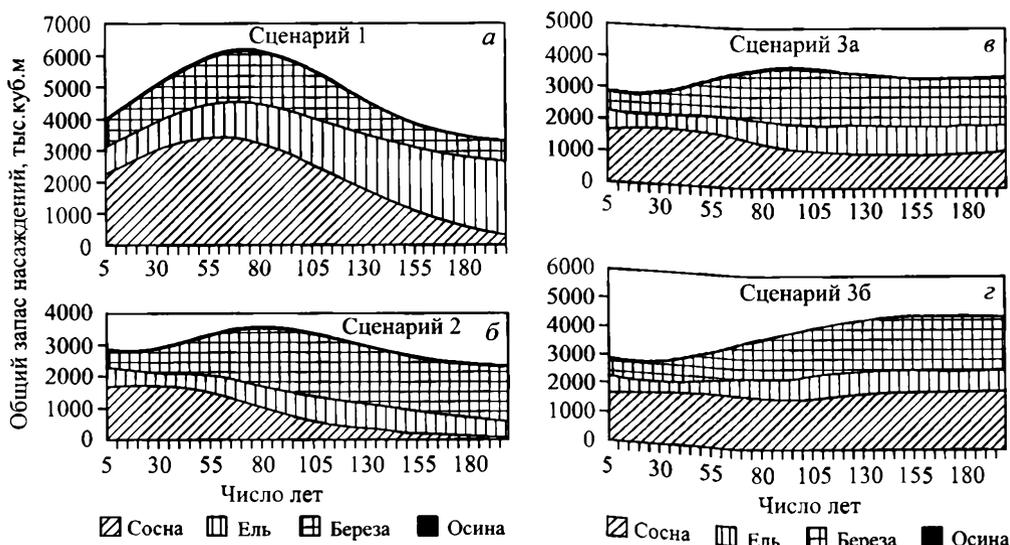


Рис. 60. Результаты моделирования: прогноз изменения общего запаса насаждений на 200 лет по породам

режима преимущественно еловых лесов (рис. 60; вклейка, рис. Ц23). Экстенсивный и интенсивный способы ведения лесного хозяйства (сценарии 2, 3а, 3б) на той же территории приведут к формированию лесов с существенно иным породным составом. Принятая для моделирования расчетная лесосека по Корткеросскому лесничеству при экстенсивном способе ведения лесного хозяйства (сценарий 2) приведет через 200 лет к преобладанию производных березовых насаждений. В то время как при интенсивном способе ведения лесного хозяйства (сценарии 3а, 3б) при том же размере главного пользования лесничества можно сформировать достаточно продуктивные для условий региона Республики Коми сосновые насаждения.

Для оценки биоразнообразия лесных экосистем применимы такие параметры прогнозных баз данных FORRUS-S как соотношение площадей (в некоторых случаях запасов), занятых насаждениями, отличающимися по породному составу, числу видов деревьев и кустарников, типу популяционных стратегий, возрастной и ярусной структуре и пр. Как в таксационных описаниях, так и в прогнозных базах FORRUS-S представлена информация преимущественно по видовому составу деревьев, а сведения о видовом составе кустарникового яруса и травяного покрова крайне ограничены. Поэтому для оценок параметров биоразнообразия следует привлекать дополнительную информацию о типологическом разнообразии лесов региона.

Возможно выявление видового разнообразия лесных территорий по данным таксационных описаний с учетом участия каждого вида или группы видов через показатели запаса (см. рис. 60) или площади, которые можно интерпретировать как аналог стандартного для геоботанических описаний показателя «обилие». Эти оценки в некоторой степени похожи, поскольку отражают как уровень разнообразия древесно-кустарниковых растений, так и общий уровень видового разнообразия территории. Различие связано с тем, что учет каждого вида через показатели запаса переносит акцент анализа на участие старших возрастных групп. Такие повыдельные прогнозные данные позволяют получить прогноз динамики различных индексов (Шенона, Симпсона) для оценки долгосрочных тенденций изменения разнообразия лесной территории.

В условиях Корткеросского лесхоза естественное возобновление насаждений (при отсутствии пожаров) представлено преимущественно елью. В этой связи при моделировании рубок главного пользования с сохранением подроста (сценарий 3а) на выделе сохраняется достаточное количество естественного елового подроста, что постепенно приведет к некоторому увеличению доли еловых насаждений, как по площади (см. рис. Ц23 на вклейке), так и по общему и вырубаемому запасу (см. рис. 60 и рис. 61). Моделирование рубок главного пользования без сохранения подроста (сценарий 3б) в соответствии с заданными правилами сценарного моделирования приведет к увеличению площадей, занятых культурами сосны. Поскольку в условиях Корткеросского лесхоза сосновые насаждения обладают сравнительно высокой продуктивностью, то затраты на посадки культур и рубки ухода в молодняках в будущем отзовутся стабильным, достаточно высоким чистым доходом, характерным для

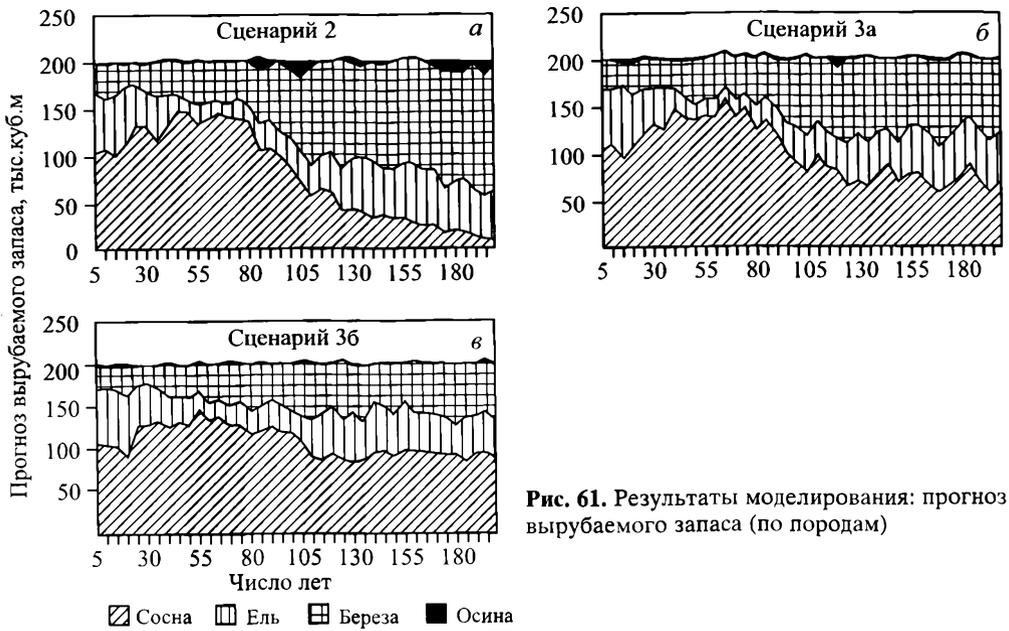


Рис. 61. Результаты моделирования: прогноз вырубемого запаса (по породам)

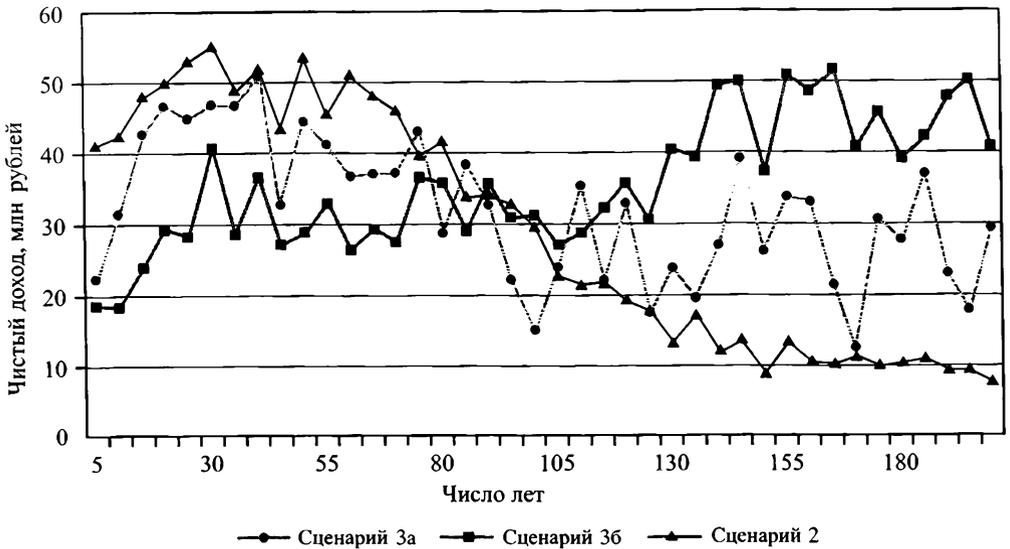


Рис. 62. Результаты моделирования: прогноз динамики чистого дохода (за каждые 5 лет) для разных сценариев моделирования

обоих сценариев интенсивного ведения лесного хозяйства (рис. 62). Прогнозируется, что затраты на лесовосстановление через 200 лет обернутся увеличением чистого дохода Корткеросского лесничества приблизительно в 1,5-2,0 раза.

В настоящее время ведение лесного хозяйства исключительно с целью выращивания товарной древесины отходит в прошлое. Пришло осознание значимости экологической и социально-экономической функций лесных экосистем. В этой связи лесные менеджеры должны изменить цели планируемых воздействий на состояние лесов, их продукционные и экологические характеристики. Информационные технологии, в которых сочетается сценарное моделирование с возможностями аналитических программ, являются инструментом, необходимым исследователям лесных экосистем и специалистам в области управления лесным хозяйством. Такие технологии могут быть использованы для оценки эффективности проектируемых лесохозяйственных мероприятий и лесопользования, оценки их влияния на улучшение продукционных и экологических характеристик лесов, на изменение уровня разнообразия лесных экосистем, для обоснования проектов устойчивого лесопользования, поддержки принятия решений в области лесного управления.

Моделирование предоставляет возможность в кратчайшие сроки оценить долгосрочные последствия (экологические и экономические) тех или иных способов ведения лесного хозяйства и лесопользования для лесных экосистем. Анализ результатов сценарного моделирования динамики насаждений Корткеросского лесничества Корткеросского лесхоза показал: 1) рассчитанный по хозсекциям на основе распределения насаждений по группам возраста размер главного пользования по Корткеросскому лесничеству был определен правильно: запас экономически доступных древесных ресурсов не убывал, т.е. неистощительное пользование было обеспечено на весь период моделирования – 200 лет (см. рис. 61); 2) экстенсивное лесное хозяйство (использование насаждений и их естественное возобновление) некоторое время обеспечивает более высокий доход, однако, в конечном счете, приведет к ухудшению качества лесного фонда, падению доходности лесов (ср. рис. 62 и рис. 61); 3) преимущество интенсивного хозяйства проявляется лишь в отдаленной перспективе – через 80–100 лет и выражается в существенно большем запасе доходных ресурсов, положительной динамике чистого дохода и др. (см. рис. 62 и рис. 61); 4) в условиях Корткеросского лесхоза создание культур сосны ведет к устойчивому повышению чистого дохода (см. рис. 62); 5) оценка тенденций изменения лесного разнообразия показывает, что влияние интенсивных форм ведения лесного хозяйства и лесопользования на некоторые параметры биоразнообразия не носит однозначно отрицательного характера; необходима разработка технологии получения интегральной оценки биоразнообразия лесных экосистем.

Прогнозирование средствами FORRUS-S и оценка динамики состояния лесного фонда с учетом функционального зонирования территории Корткеросского лесхоза продемонстрировали, что целесообразно сочетать разные формы лесного хозяйства, отдавая предпочтение интенсивной форме в высокобонитетных сосновых насаждениях и на участках лесного фонда в непосредственной близости от транзитных путей. Средствами комплекса программ FORRUS-S была исследована динамика таких показателей, как эксплуатационный запас и его товарная структура, объем главного и промежу-

точного пользования, породно-возрастная структура насаждений, рентный доход по главной рубке и рубкам ухода, затраты на лесовосстановление и ухода в молодняках, чистый лесной доход, лесное биоразнообразие.

Лесные насаждения необходимо рассматривать как один из компонентов биогеоценотического покрова – комплекса биоценотических, биокостных и абиотических систем (популяций различных видов растений и животных, почв, рельефа, подстилающих пород, гидрологической сети и др.), связанных потоками вещества и энергии и представленных множеством элементов и систем, объединенных в иерархические ряды. Они имеют собственные пространство и время, обусловленные особенностями биологии видов-эдификаторов, их формирующих, и необходимые им для устойчивого развития. Все возрастающая фрагментация лесов делает актуальной задачу разработки принципов оптимизации пространственной структуры лесного покрова для поддержания и восстановления лесного биоразнообразия. Решение такой задачи возможно с применением современных методов имитационного моделирования и пространственного анализа полученных результатов. Представленная технология, и ее дальнейшее развитие в рамках лесоустроительного проектирования, стратегического и тактического планирования ведения лесного хозяйства – важнейшее условие становления современного экологически ориентированного лесопользования.

Прогнозный комплекс FORRUS-S адресован исследователям и практическим работникам лесного хозяйства, которым он поможет при оценке эффективности проектируемых мероприятий, при оценке влияния различных воздействий на состояние лесов и поддержки принятия решений в области управления лесными территориями. FORRUS-S применялся в рамках федеральных целевых программ «Леса России», «Экология и природные ресурсы России», «Интеграция», международных научных программ INTAS-97-30255 «Forest Models for Sustainable Forest Management», INTAS-2001-0633 «Silvicultural Systems For Sustainable Forest Resource Management».