

МОСКОВСКИЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени В. И. ЛЕНИНА

Специализированный совет К 053.01.10

На правах рукописи

ЧУМАЧЕНКО Сергей Иванович

**«БИОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ
РАЗНОВОЗРАСТНОГО ЛЕСНОГО ЦЕНОЗА»**

03.00.16 — Экология

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Москва — 1992

Работа выполнена в Московском лесотехническом институте.

Научный руководитель — доктор биологических наук,
Смирнова О. В.

Официальные оппоненты — доктор биологических наук,
Чертов О. Г.,
кандидат биологических наук,
Комаров А. С.

Ведущая организация: Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова.

Защита состоится «*13*» *апреля* 1992 г. в *16* часов на заседании специализированного совета К 053.01.10 по присуждению ученой степени кандидата наук в Московском педагогическом государственном университете имени В. И. Ленина по адресу: 129278, г. Москва, ул. Кибальчича, д. 6, корп. 5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МПГУ им. В. И. Ленина (адрес университета: 119435, г. Москва, ул. Малая Пироговская, д. 1).

Автореферат разослан «*13*» *марта* 1992 г.

Ученый секретарь специализированного совета,
Шаталова С. П.

*Оцену Иванову
от соавтора.
Смирнова*

Се

Подп. в печ. 5.III.92 г. Объем 1 п. л. Зак. 793 Тир. 100

Типография Московского лесотехнического института

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Экологические исследования в последние десятилетия приобретают, наряду с научными целями, все большее значение для рационального природопользования. Это связано с обострением экологического кризиса, приведшего к значительному ухудшению качества окружающей среды. В связи с этим, огромное значение придается созданию новых, более экономичных, ресурсосберегающих технологий и повышению интенсивности возобновления восстанавливающихся ресурсов. Лесная растительность является именно таким ресурсом. Одним из перспективных методов изучения лесных объектов является метод математического моделирования, позволяющий как систематизировать накопленные данные и знания, так и проводить с моделями численные эксперименты, заменяющие дорогостоящие и требующие много времени эксперименты в природе над самими объектами.

Цель и задачи работы. Целью настоящей работы является разработка и проведение предварительных исследований модели многовидовой разновозрастной древесной синузии. В связи с этим в работе были поставлены следующие задачи:

1) проанализировать литературу по популяционной организации разновозрастных многовидовых лесных ценозов и сформулировать концептуальные основы их моделирования;

2) рассмотреть основные типы моделей развития лесных ценозов и дать их оценку с точки зрения концепции устойчивого существования разновозрастного многовидового ценоза;

3) разработать концептуальную модель развития разновозрастного многовидового лесного ценоза с учетом:

а) объемной структуры древесной синузии;

б) изменений биологических параметров в течении онтогенеза древесных эдификаторов;

в) комплекса факторов, определяющих гибель особей по мере прохождения онтогенеза;

г) направленных экзогенных воздействий;

4) разработать алгоритм имитационной модели многовидового разновозрастного лесного ценоза и реализовать его на ЭВМ;

5) провести численные (машинные) эксперименты и дать заключение об адекватности модели на качественном уровне;

6) рассмотреть возможности модели при решении теоретических задач лесной экологии и практического лесоводства.

Научная новизна. Разработана концептуальная модель разновозрастного многовидового лесного ценоза, в которой: биологические параметры видов изменяются в течение онтогенеза в зависимости от возрастного состояния особи; одновременно рассматривается несколько составляющих процесса гибели особи (естественного старения, нехватки светового довольствия, недостатка площади питания, длительного угнетения) и занесение зачатков в зависимости от наличия генеративных особей; имеется возможность учета экзогенных (в том числе антропогенных) воздействий разной интенсивности, а также глобальных (региональных) изменений условий местопроизрастания.

Разработана для ЕС ЭВМ имитационная модель многовидового разновозрастного лесного ценоза, уникальная по своим возможностям. Проведена серия вычислительных экспериментов и показана на качественном уровне адекватность реакции модели на изменение параметров.

Методы исследования. При получении результатов диссертационной работы использованы популяционно-онтогенетические и лесоводственные методы, методы имитационного моделирования, модульного программирования, численного моделирования на ЭВМ.

Практическая значимость. Предлагаемая модель может быть использована для изучения сукцессионных процессов конкретных лесных объектов как в естественных условиях, что особенно важно для заповедников, водохранимых лесных зон, государственных заказников, так и с целью сравнения альтернативных вариантов хозяйственной деятельности в лесах первой группы. Кроме того имеется возможность изучения изменения сукцессионных процессов, связанных с глобальными (региональными) изменениями условий произрастания, а также исследовать развитие древостоя в условиях периодических экзогенных, в том числе антропогенных воздействий.

Апробация работ. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на теоретическом семинаре "Методология комплексного анализа и проектирования лесных эколого-экономических систем" (МЛТИ, Москва, 1989); международном рабочем совещании "Моделирование экосистем и процессов" (п. Курортное, 1990 г.); семинаре кафедры Ботаники и Проблемной биологической лаборатории МГУ им. В. И. Ленина (1990); семинаре кафедры Прикладной математики Ростовского государственного университета (г. Ростов-на-Дону, 1990); международном рабочем совещании "Структура и динамика по-

пуляций растений, их сообществ и проблемы математического моделирования" (Пушино, 1991); второй всесоюзной научно-технической конференции "Охрана лесных экосистем и рациональное использование лесных ресурсов" (МЛТИ, Москва, 1991), заседании Российского ботанического общества (С.-Петербург, 1992).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 6 работ, список которых приведен в конце автореферата.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, включающего 176 наименований, из них 43 на иностранных языках. Работа изложена на 129 страницах, содержит 5 таблиц и 29 рисунков.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность выбранной темы и методов исследования, а также излагается план работы.

В первой главе приведен краткий аналитический обзор основных понятий популяционной организации лесных ценозов, используемых в моделировании. Были выделены основные моменты, которые необходимо учесть при разработке модели разновозрастного многовидового ценоза:

1. Длительное и устойчивое существование любого ценоза определяется, в первую очередь, возможностью устойчивого оборота поколений всех древесных видов, обитающих на данной территории. В связи с этим, моделирование устойчивого существования лесного ценоза в целом на первом этапе может быть сведено к моделированию устойчивого существования древесной сингузии как совокупности популяций всех древесных видов.

2. Особенности пространственной структуры популяций древесных видов (размеры возрастных локусов и их компоновка в пространстве) обуславливают объемную организацию лесного ценоза в целом, а также специфику светового режима.

3. Элементы объемной (мозаично - ярусной) организации лесных ценозов претерпевают однонаправленное развитие, которое представляет собой микросукцессию. Она начинается формированием молодых популяционных локусов деревьев и заканчивается разрушением этих локусов после завершения онтогенеза составляющих их особей.

4. Последовательные ряды элементов мозаично - ярусной структуры ценозов образуют относительно замкнутые циклы. Состав-

ляющие их структурную основу молодые локусы, через определенный промежуток времени (специфичный для каждого вида) сменяются вновь возникающими молодыми локусами.

5. Количество особей каждого вида, появляющихся в молодых локусах, зависит от интенсивности потока зачатков, что определяется числом плодоносящих особей и расстоянием от них.

6. Гибель особей происходит в результате старения, нехватки ресурсов (света, элементов минерального питания) и экзогенных процессов: ветровалов, рубок и пр.

7. Возможность нормального прохождения онтогенеза древесными растениями объясняется условиями, создаваемыми в окнах возобновления (gaps). Эти условия должны соответствовать меняющимся в ходе онтогенеза биологическим характеристикам видов: скорости роста, теневыносливости, светолюбия, ажурности крон и пр.

8. Условия мест произрастания определяют потенциальные ростовые параметры видов.

9. Конкурентные отношения между особями и их результирующие (в частности такие таксационные характеристики, как средние высоты, диаметры, площади крон, плотности и пр.) зависят от положения особей и их совокупностей в пространстве, что, в свою очередь, предопределяет особенности светового режима, доступность влаги и элементов минерального питания.

Можно констатировать, что применение понятийного аппарата популяционной биологии для исследования ценозов приводит к выяснению некоторых механизмов их пространственно-временной организации. Наибольшая результативность популяционных подходов и методов проявляется при анализе растительного покрова лесных территорий, где онтогенез дерева-эдификатора прямо или косвенно определяет основные характеристики экотопа и состав биоты. Пространственно-временная неоднородность устойчиво существующей популяции эдификатора (-ров) задает наиболее крупный масштаб внутри ценозной мозаики и, в той или иной степени, обуславливает темпы и направление мозаичных сукцессий разного ранга, в том числе динамические процессы в почве. Наличие достаточно четко выявляемых элементов в растительном покрове ненарушенных лесных ценозов и возможность оценки интенсивности и характера их связи делает вполне реальной задачу разработки имитационных моделей таких ценозов. Создание последних является насущной необходимостью как теоретического лесоводства, так и практических задач

сохранения и восстановления лесных ресурсов.

Во второй главе описывается концептуальная модель разновозрастного многовидового лесного ценоза. Основу модели составляют следующие положения:

- 1) все моделируемое пространство древостоя расчленяется на трехмерные ячейки конечного размера;
- 2) биологические свойства древесных особей изменяются во времени дискретно, в соответствии с периодизацией онтогенеза;
- 3) временной ряд состояний каждой ячейки составляет всегда замкнутый цикл;
- 4) переход каждой ячейки из одного состояния в другое определяется текущим состоянием ячейки и состоянием смежных с ней ячеек.

Первое утверждение подразумевает деление пространства на дискретные объекты, соответствующие синхронно развивающимся группам молодых особей имматурного и виргинильного возрастных состояний, отдельным особям или их частям для других состояний. Рассмотрение группы молодых особей как синхронно развивающегося объекта вполне допустимо, так как в окнах для тысяч или десятков тысяч молодых особей условия внешней среды практически одинаково благоприятны и сильно отличаются от условий существенно угнетенного подроста под пологом взрослых особей. Каждая ячейка представляет собой прямоугольный параллелепипед. Проведенная дискретизация пространства является одной из основных особенностей описываемой модели, что позволяет учитывать взаиморасположение особей или групп деревьев при расчете их влияния друг на друга (очень ярко это проявляется при расчете светового допоявления).

Второе положение основывается на биологической периодизации онтогенеза древесных растений. В модели принято деление на шесть основных возрастных состояний: имматурное, виргинильное, молодое репродуктивное и старое генеративное, сенильное и дополнительное. Каждое из этих состояний характеризуется как определенным набором особей, их эколого-физиологическими свойствами, так и скоростью роста и развития. При нормальном развитии каждая особь должна проходить последовательно все эти состояния в определенном порядке. Как правило, старение нормально развивающихся особей коррелирует с их абсолютным возрастом. Тем не менее, существуют и специфические исключения, и в этих случаях

одни и те же возрастные состояния длятся разное количество лет. Правда, это различие проявляется преимущественно в генеративном и сенильном состоянии, а ранние этапы развития у разных видов протекают более синхронно. Вследствие разной длительности онтогенеза у разных видов, в модели счет времени ведется по абсолютной шкале.

Согласно третьему тезису, временной ряд состояний каждой ячейки всегда завершается возвратом в начальное состояние, т.е. после всех превращений ячейка становится вновь пригодной для очередного акта возобновления. Справедливость этого утверждения подтверждается тем, что в разновозрастных лесах на месте гибели одной особи всегда появляется молодой подрост. В многовидовых сообществах в окнах появляются особи практически всех плодonoсящих видов, хотя дальнейшая судьба молодого поколения может быть различной.

При описании четвертого положения необходимо отметить, что состояние соседних ячеек определяет степень угнетения особей. Действительно, от их состояния (занятости другими деревьями) зависит световой режим, возможность увеличения площади кроны, изменения яруса, в котором они находятся. А это напрямую определяет дальнейшую судьбу деревьев.

Перечисленный набор положений оказался достаточным для получения непрерывно меняющейся во времени мозаики локальных неоднородностей пространства. Характер этой мозаики (узор) и ее динамичность будут зависеть от ограничений, накладываемых на линейные размеры ячеек, длительность существования каждого состояния, величины циклов, направления переходов из одного состояния в другое. Именно в таких ограничениях отражаются видоспецифические различия габитуальных, онтогенетических и экологических параметров древесных видов.

Третья глава посвящена вопросам реализации модели многовидового разновозрастного лесного ценоза на ЭВМ, схема алгоритма которой представлена на рис. 1. Для работы модели необходимо задать (блок 1) эмпирические видоспецифические функции возрастного состояния: прироста в высоту за один шаг моделирования; диапавона фотосинтетической активности; изменения площади кроны; коэффициентов прозрачности кроны; а также возрастные и габитусные ограничения. Исходные данные для моделирования были собраны под руководством О. В. Смирновой в широколиственных лесах Европейской

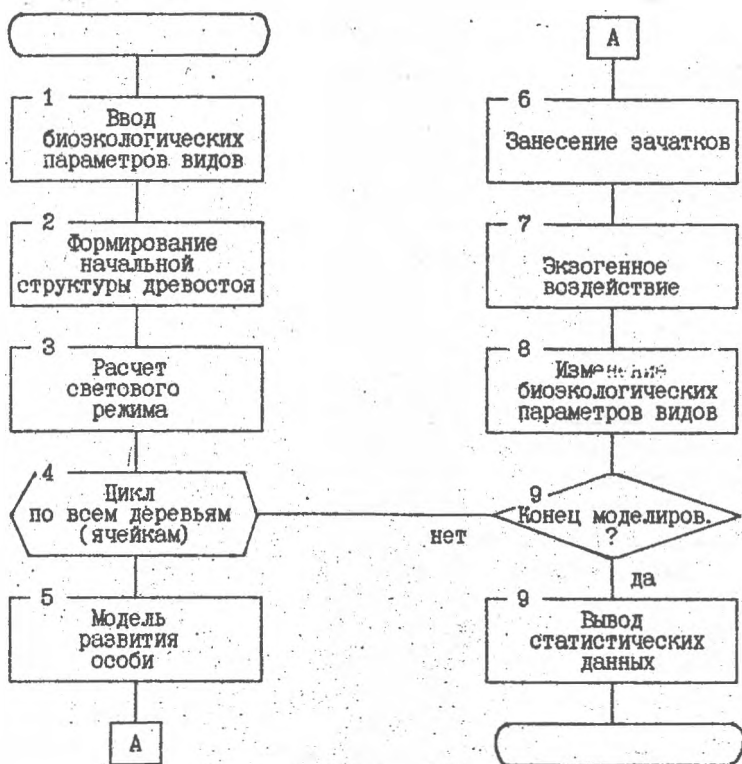


Рис. 1. Схема имитационной модели многовидового разновозрастного леса

части страны. Необходимо отметить, что для каждой ячейки модели могут быть заданы свои биологические параметры видов. Этим самым можно промоделировать разнообразные почвенные и гидрологические условия, а также изменение структуры и плодородия почвы, которые очень тесно связаны с сукцессиями растительности. Это позволяет рассматривать свет как основной лимитирующий фактор.

В предлагаемой модели рассчитываются прямая и рассеянная освещенности (блок 3). При движении солнца по небосводу его положение однозначно описывается высотой и азимутом солнца, време-

нем стояния солнца и интенсивностью радиации, поступающей на горизонтальную поверхность. При этом учитывается количество солнечных дней в течение вегетационного периода. После расчета светового довольствия для всех ячеек осуществляется последовательная их обработка с использованием модели развития особи в условиях конкуренции (блок 5). Счет начинается с деревьев, имеющих наибольшую высоту, так как они в большей степени влияют на формирование светового режима.

Согласно алгоритму развития особи в условиях конкуренции, представленному на рис. 2, дерево может увеличивать свою высоту в зависимости от освещенности кроны, возрастных темпов роста (блок 2) и возможности занять более высокий ярус (блоки 3,4); изменять площадь кроны при наличии свободного пространства в непосредственной близости от особи (блок 5). Гибель особи (блок 13) может наступить в случае освещенности кроны ниже точки компенсации на кривой фотосинтеза, при недостатке площади питания (площади кроны) и длительном угнетении.

После обработки всех ячеек, программа выполняет блок заноса зачатков (блок 6 на рис. 1). Учет пространственной структуры позволяет рассчитать количество зачатков, достигающих заданной ячейки, в зависимости от наличия генеративных особей и расстояния до них.

После этого выполняется блок 7 - "экзогенное воздействие", в котором моделируется процесс массовой гибели особей как в экстремальных условиях (массовое размножение различных фитофагов, болезни, сильные морозы, засухи, и т. д.), так и при антропогенных воздействиях, например при разнообразных рубках.

Кроме этого в модель заложена возможность изменять в соответствии с заданными законами биологические характеристики моделируемых видов (блок 8). Это можно использовать для моделирования глобальных и региональных изменений экологической обстановки (например, загрязнение атмосферы и почвы, пр.), мощных антропогенных воздействий (осушение болот, изменение уровня грунтовых вод и т. д.), изменение климата, влияние последствий болезней леса и прочее.

В качестве результатов моделирования исследователь может получить статистические данные по следующим контролируемым в модели параметрам: возрастному состоянию и абсолютному возрасту; суммарной площади, занимаемой каждым видом в любом возрастном

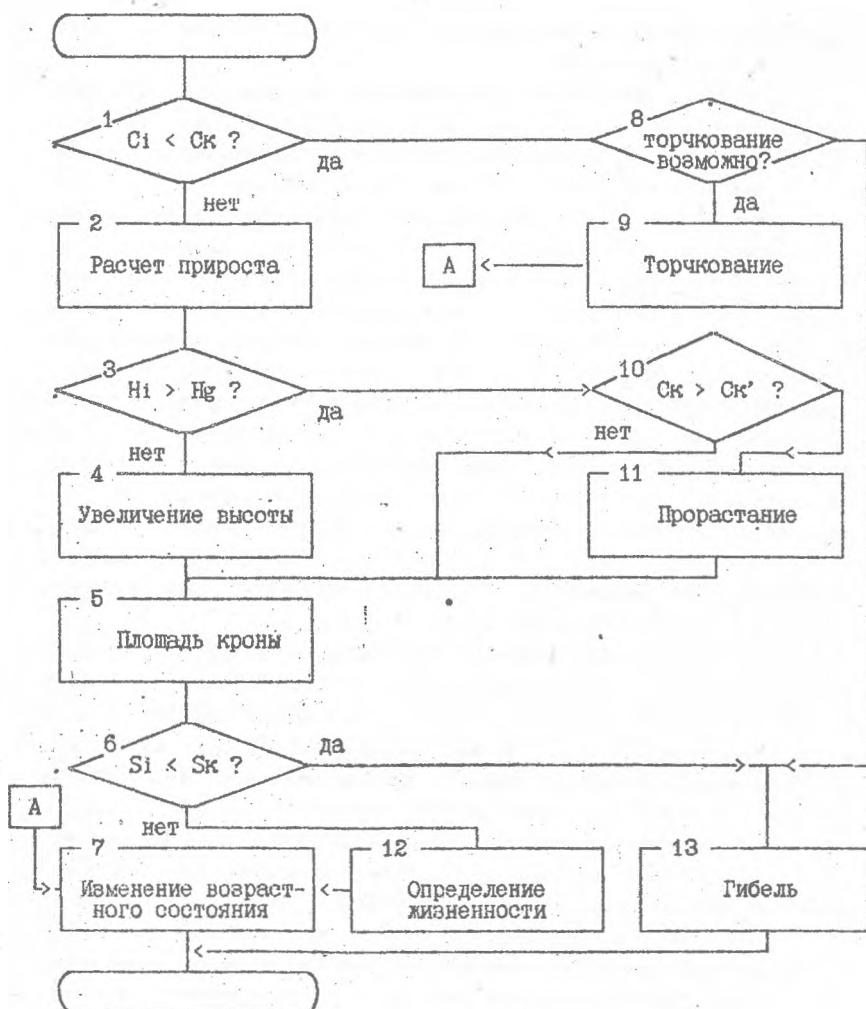


Рис. 2. Схема имитационной модели развития особи в условиях конкуренции
 S_1 - освещенность кроны i -го дерева;
 S_k - точка компенсации на кривой фотосинтеза для вида i -го дерева;
 S_k' - то же, для вида, занимающего верхний ярус;
 H_1 - высота i -о дерева;
 H_g - заданная в модели высота яруса;
 S_1 - площадь i -о дерева;
 S_k - критическое значение площади кроны для вида i -о дерева.

состоянии; средней площади кроны в генеративном состоянии; высоте особи и прочим данным.

На основе описанного алгоритма была разработана на ЭВМ имитационная модель динамики многовидового разновозрастного лесного ценоза, которая позволяет проводить вычислительные (машинные) эксперименты с различными наборами исходных данных.

В четвертой главе приведены некоторые результаты модельных экспериментов. Все вычислительные эксперименты с имитационной моделью были разбиты на 4 этапа. На первом и втором этапах моделировались гипотетические одно- и двухвидовый ценозы с различными значениями скоростей роста. На третьем этапе при моделировании трехвидового сообщества в качестве биологических аналогов моделируемых видов использовались характеристики наиболее ярких представителей видов разной стратегии (дуб черешчатый, как типичный конкурентный вид, клен остролистный - толерантный и реактивный вид - береза бородавчатая). Выбранные виды характеризуются разными скоростями роста, теневыносливостью, длительностью онтогенеза и пр. На четвертом этапе был проведен эксперимент с четырехвидовым сообществом. В качестве четвертого вида был введен второй конкурентный вид - ясень обыкновенный.

Во всех экспериментах моделирование начиналось с условно свободного места. Шаг моделирования - 10 лет. Размер ячейки 5х5х10 м. Следует отметить, что во всех случаях на каждом шаге моделирования осуществляется занос зачатков всех видов во все ячейки нижнего яруса, свободные к данному моменту. Для удобства сравнения результатов экспериментов в качестве выходных результатов рассматривался только один из контролируемых в модели параметров, а именно - общая площадь, занимаемая генеративными особями каждого из моделируемых видов по шагам моделирования. Этот показатель выбран не случайно, т.к. использование показателя численности для многовидового сообщества с разным габитусом особей разных видов может привести к неоднозначным выводам.

Моделирование двухвидового сообщества в идеальных условиях развития (без блока экзогенных воздействий) показало, что через одно поколение при любых соотношениях скоростей роста будет доминировать теневыносливый вид. Однако, в природе такое явление реализуется далеко не всегда и лишь на определенных этапах сукцессий. Следовательно, для долгосрочного прогноза динамики древесной синузии необходимо учитывать в модели факторы, ограничи-

вающие численность теневыносливого вида, что достигается введением в модель избирательного отчуждения части особей этого вида.

Более подробно рассмотрим возможности модели на примере эксперимента четвертого этапа, где были заданы следующие правила периодического отчуждения особей: у березы, дуба и ясеня удалялись 25% молодых и средневозрастных генеративных особей, а у клена - 50% с периодичностью 30 лет (3 шага моделирования). Кроме графика изменения площади генеративных особей всех моделируемых видов по шагам моделирования (рис. 3) представлены аналогичные зависимости для площадей, занимаемых особями разных возрастных состояний каждого вида (рис. 4 А, В, Г).

Рассмотрим последовательно изменение структуры древесной синузии по шагам моделирования. В начале происходит очень быстрый захват территории березой. Она полностью доминирует в древесной синузии и занимает около 75% территории. На рис. 5А показана пространственная структура 2-го яруса древесной синузии после 8 шагов. Видно абсолютное господство в обоих ярусах вида эксплерентной стратегии - березы бородавчатой и ассектаторные позиции видов иных стратегий. Эта ситуация характеризует начальный этап сукцессии в березняках, развивающихся на заброшенных пашнях в условиях близкого нахождения многовидовых широколиственных лесов и возможности постоянного заноса зачатков.

Картина резко изменяется после 11 шага, когда начинается естественный распад березняка, который практически завершается к 14 шагу (рис. 5Б). К этому времени имеется уже хорошо развитый подрост клена, который начал активно развиваться после 10 шага, с момента начала перехода берез в сенильное состояние. Если бы моделировалась древесная синузия без экзогенных воздействий, то клен через 2-3 шага занял бы доминирующее положение. Однако, периодические отчуждения поддерживают численность клена на допустимом уровне, тем самым искусственно формируется многовидовая древостой.

Это позволяет развиваться популяциям дуба и ясеня. В результате уже к 35 шагу формируется структура, которая практически дальше не меняется. В качестве примера стационарной структуры рассмотрим расположение деревьев 1 и 2 ярусов на 35 шаге моделирования (рис. 5В и 5Г). В полученном древостое дуб занимает ведущее положение и контролирует 25-30% территории, ясень -

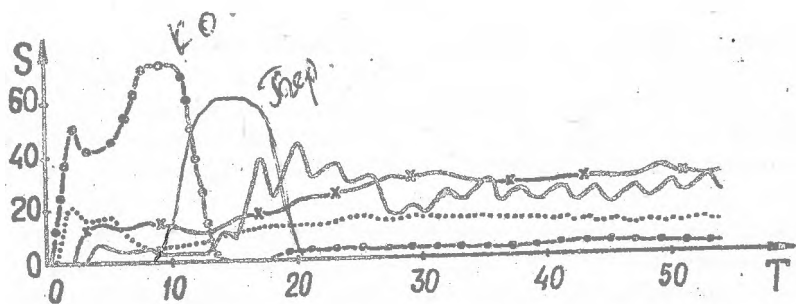


Рис. 3. Изменение площади, занимаемой генеративными особями дуба (x), ясеня (.....), клена (—), березы (•), по шагам моделирования

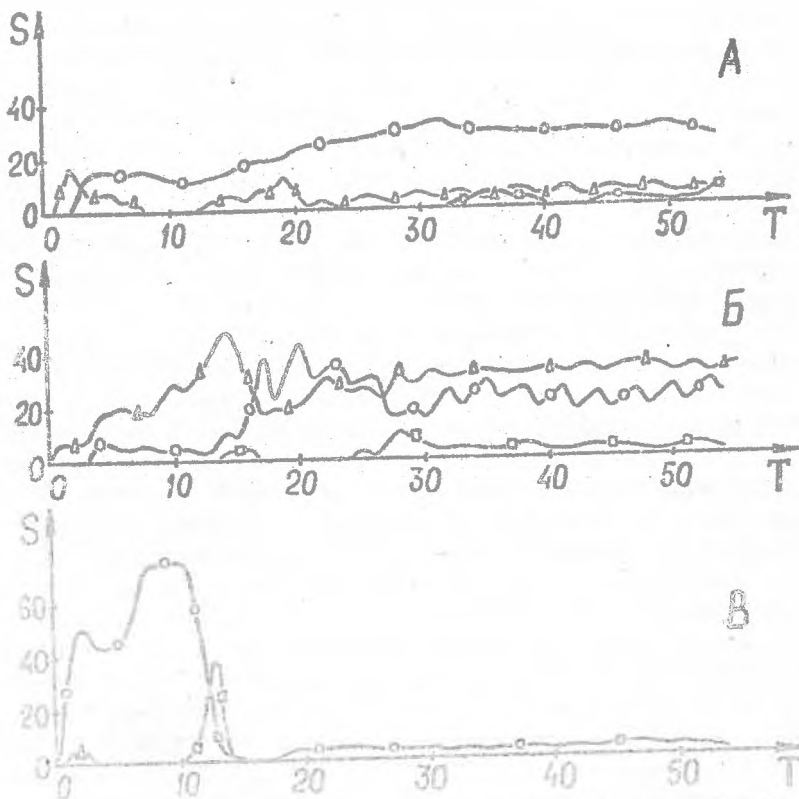


Рис. 4. Изменение площади, занимаемой особями дуба (А), клена (Б), березы (В) виртуального (—Δ—), генеративного (—○—) и сerialного (—□—) возрастных особей по шагам моделирования

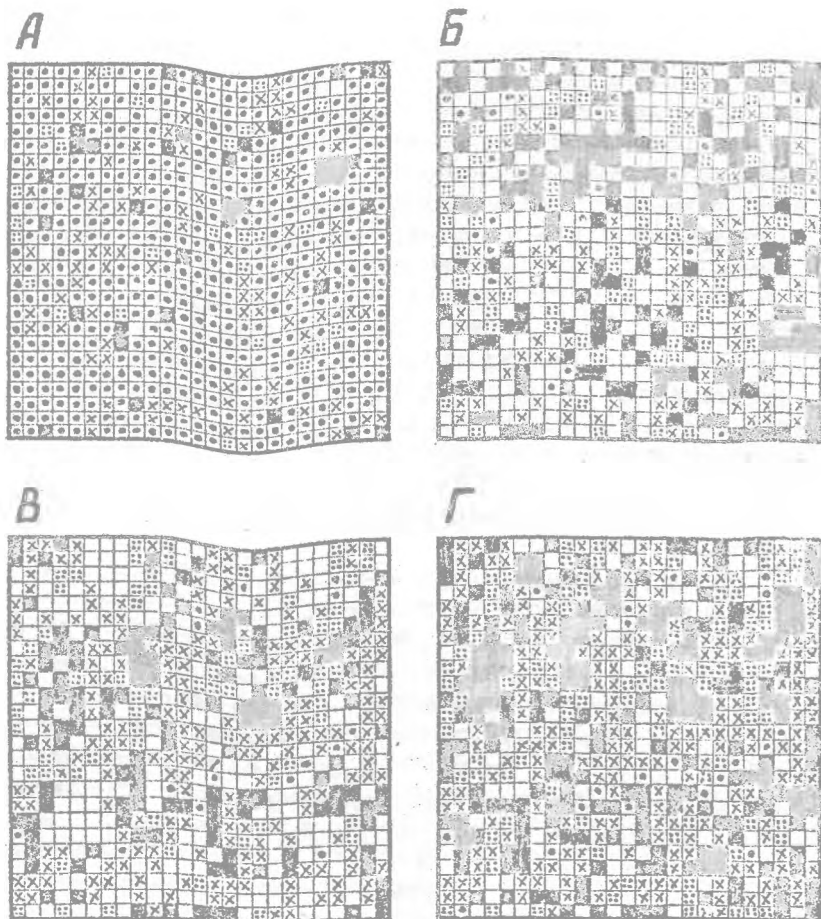


Рис. 5. Структура древесной синусии на 8-м (А - 2 ярус), 14-м (Б - 2 ярус) и 35-м (В - 1 ярус, Г - 2 ярус) шагах моделирования, где { x } - особи дуба, { :: } - ясени, { • } - кле- на, { • } - березы

12-15%, клен - 15-25%, а береза - до 3-5%. Случайное сочетание факторов, действующих на древостой, приводит к образованию окон размером от 25 кв. м до 550 кв. м, что позволяет нормально развиваться даже светолубивой березе.

Структуры, возникшие на четвертом этапе вычислительных экспериментов в процессе моделирования разновозрастной многовидовой древесной синузии, адекватно воспроизводят особенности мозаично-ярусной организации ненарушенных лесных ценозов. Это становится очевидным при сравнении результатов моделирования с общими чертами структуры таких ценозов, полученными из литературных источников, и конкретными параметрами одного из ценозов в разновозрастных широколиственных лесах Калужских засек.

Проведенные модельные эксперименты демонстрируют не только возможности модели адекватно отразить природные объекты, но и предлагают обратить более пристальное внимание на выявление и анализ механизмов и способов как эндогенной, так и экзогенной регуляции устойчивой организации древесной синузии и лесных сообществ в целом.

Существует еще один аспект экологических проблем, связанный с блоком экзогенных воздействий. При анализе проведенных экспериментов в понятие "отчуждения особей" может вкладываться разный смысл, в том числе такие антропогенные воздействия, как рубки разной интенсивности и периодичности. На этом пути возможны поиски компромиссов между стремлением хозяйственников получить максимальную продукцию и желанием экологов и специалистов по охране природы поддержать видовое разнообразие и относительно устойчивую структуру лесов.

Используя основные положения базовой имитационной биоэкологической модели развития многовидового разновозрастного лесного ценоза, можно предложить несколько вариантов моделей, в зависимости от задач, поставленных перед исследователями. Основным путем модернизации модели следует считать выбор необходимых размеров ячеек, на которые разбивается моделируемое пространство.

Так, увеличив размеры ячеек в 3-5 раз (до 100 - 200 кв. м), можно промоделировать динамику целых лесных массивов площадью в сотни и тысячи га. На каждом шаге моделирования могут быть получены основные таксационные показатели, видовой и возрастной состав каждого выдела, включая его площадь.

При уменьшении размеров ячейки до 3-5 кв. м можно изучить

динамику древесной синузии с учетом ветровально-почвенного комплекса. Дальнейшее уменьшение размеров ячейки до размеров 0.1 - 0.25 кв.м по площади и 0.5 - 2.0 м по высоте позволит производить достаточно тонкие расчеты световых характеристик в древостое и внутри кроны. Разработка подобной модели позволит выявить степень влияния световых условий на возобновление подроста, рассчитать объем фотосинтезирующего слоя для анализа экологического воздействия ценоза на окружающую среду и прочие данные.

ВЫВОДЫ

1. Разработана концептуальная модель разновозрастного многовидового лесного ценоза, основанная на представлениях о дискретизации онтогенеза, ячеистой (мозаично-ярусной) организации ненарушенных лесных ценозов, цикличности развития ячеек, пространственной предопределенности их состава, направлений и темпов развития. Обоснована необходимость введения блока экзогенных воздействий как биоценотического регулятора структуры древесной синузии.

2. На основе концептуальной модели разработана имитационная модель, не имеющая функциональных аналогов.

3. Проведенные численные эксперименты продемонстрировали адекватность модели и ее возможности как инструмента исследования сукцессионных процессов и механизмов устойчивости разновозрастных многовидовых лесных ценозов.

4. Моделирование хода вторичных сукцессий, с использованием параметров роста и развития основных компонентов синузии деревьев восточно-европейских широколиственных лесов, не только показало значительное сходство отдельных этапов моделирования с натурными объектами, но и позволило получить модельный образ недостающих звеньев сукцессионных рядов, что существенно облегчает поиск биологических аналогов в природе.

5. Модельные эксперименты показали, что представление результатов конкурентных взаимоотношений в природе невозможно без оценки роли избирательных воздействий факторов, объединенных в блок экзогенных воздействий.

6. Разработанная модель рассматривается как базовая и на ее основе планируется создание проблемно-ориентированных моделей для лесоводства (подбор видового состава, структуры древостоя, периодичности и интенсивности рубок и т.д.) и охраны природы

(определение направления и темпов сукцессий, составления прогнозов развития, популяционный мониторинг редких видов и пр.), а также для решения теоретических проблем лесной экологии и биогеоэкологии.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Смирнова О. В., Чернов Н. И., Попадюк Р. В., Чумаченко С. И., Костяев С. А. Эмпирические подходы и теоретическая модель динамики популяций в лесных сообществах. - В научн. тр.: Результаты фундаментальных исследований по приоритетным научным направлениям лесного комплекса страны. Вып. 222. - М.: МЛТИ, 1989. С. 2-44.
2. Евстигнеев О. И., Чумаченко С. И. Возрастная изменчивость теневыносливости подроста лиственных деревьев. - В научн. тр.: Результаты фундаментальных исследований по приоритетным научным направлениям лесного комплекса страны. Вып. 222. - М.: МЛТИ, 1989. С. 62-67.
3. Попадюк Р. В., Чумаченко С. И., Митрофанова М. В., Французов А. В. Пространственно-временная организация широколиственных лесов, как основа моделирования динамики популяций в лесных сообществах // Тезисы докладов на республиканской конференции молодых ученых, специалистов и студентов. Петрозаводск, 1990. С. 78-80.
4. Чернов Н. И., Чумаченко С. И., Демидов Б. В., Костяев С. А., Ремизов А. В. Предварительные результаты исследований по созданию банка эколого-экономических данных. - В научн. тр.: Результаты фундаментальных исследований по приоритетным научным направлениям лесного комплекса страны. Вып. 225. - М.: МЛТИ, 1990. С. 21-31.
5. Попадюк Р. В., Чумаченко С. И. Имитационная биоэкологическая модель развития многовидового разновозрастного древостоя // Биологические науки. М.: "Высшая школа", 1991, 8(332), с. 67-78.
6. Смирнова О. В., Попадюк Р. В., Чернов Н. И., Чумаченко С. И. Популяционная устойчивость лесных сообществ (на примере Калужских заповедников). - В научн. тр.: Результаты фундаментальных исследований по приоритетным научным направлениям лесного комплекса страны. Вып. 242. - М.: МЛТИ, 1991. С. 30-38.

Смирнова