

МОДЕЛИРОВАНИЕ
И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ
В БИОЭКОЛОГИИ

Министерство высшего и среднего специального образования
Латвийской ССР
Латвийский ордена Трудового Красного Знамени
государственный университет имени Петра Стучки
Кафедра ботаники

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ

В ЭКОЛОГИИ

Сборник научных трудов

Латвийский государственный университет им. П.Стучки
Рига 1982

Моделирование и прогнозирование в биоэкологии: Сборник научных трудов. - Рига: ЛГУ им. П.Стучки, 1982. - 207 с.

Межвузовский тематический сборник научных трудов по моделированию и прогнозированию изменения во времени экологических (преимущественно фитоэкологических) систем. В статьях И.Я.Лиэпа и Р.Г.Баранцева рассматриваются концептуально-теоретические и методологические проблемы экологического моделирования. Статьи И.А.Козырева, А.М.Мауриня и Е.В.Краснова посвящены общим и прикладным вопросам проблемы времени в моделировании и прогнозировании. Л.И.Глазачева, П.П.Залитис, В.А.Балодис и М.М.Балодис с соавторами анализируют различные аспекты изменения гидрологического режима во взаимосвязи с биологической продуктивностью растений. Предметом остальных работ (З.Д.Мешковского, О.Э.Никодемуса, К.К.Рамана, Г.Е.Поспеловой с соавторами) являются методические вопросы моделирования и прогнозирования изменений фитоэкологических систем под влиянием антропогенного (в основном рекреационного) воздействия. Сборник представляет интерес для экологов, ботаников, специалистов лесного хозяйства, озеленителей, а также работающих в области охраны природы, экологического планирования и прогнозирования.

Табл. 7, библиогр. 172, илл. 34

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

- д-р биол. наук, проф. А.М.Мауринь (отв. редактор)
д-р биол. наук, проф. И.Я.Лиэпа (зам. отв. редактора)
д-р биол. наук, ст. н. сотр. К.К.Бух
канд. биол. наук, доц. Н.Е.Бульгин

Печатается по решению редакционно-издательского совета ЛГУ им. П.Стучки

21000-II2y 32.82.2001050000
M 812(II)-82

REPUBLIKA LATVIJA
VALDZIBSNETNISKA
BIBLIOTEKA
101-18-83

© Латвийский
государственный
университет
им. П.Стучки, 1982

И. Я. Лиєпа
ЛГУ им. П. Стучки (Рига)

К МАТЕМАТИЧЕСКОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ В ЭКОЛОГИИ

Последние два десятилетия характеризуются неуклонным ростом популярности терминов "модель" и "моделирование". Эти слова вошли в моду и стали использоваться не всегда уместно. С одной стороны, это свидетельствует об интенсивных поисках новых методических решений, в частности, о развитии и внедрении такого эффективного метода познания, как моделирование. С другой стороны, непродуманное или неоднозначное применение научных терминов, нередко даже в пределах одной публикации, ведет к терминологическому загрязнению, препятствующему развитию самого метода и дискредитирующему его в глазах биологов и экологов.

В современном языке понятие "модель" интерпретируется весьма обширно. Под этим термином подразумеваются образцы новых приборов, автомашин, одежды, причесок, общественного поведения; макеты новостроек, кораблей, самолетов; выборочные совокупности экспериментальных растений и животных, пробные площади лесонасаждений, опытные участки агрономических исследований; вербально-содержательные описания разных объектов и явлений; представление об окружающем мире; натурщики в мастерских художников и прообразы в литературе; рисунки; схемы; формулы и т.д. Неисчерпаемое разнообразие, характеризующее специфику воображения и языковых возможностей. Такое положение в повседневной жизни особых недоразумений не вызывает. Однако в исследовательской практике с этим мириться нельзя. Здесь для взаимного понимания специалистов различных научных дисциплин и стран требуется четкое, однозначное понимание терминов и выражений. Поэтому закономерно, что наряду с сообщениями о конкретных методических разработках все чаще появляются публикации обобщающего характера, позволяющие проследить за

формированием методологических представлений моделирования. В данной статье на фоне многолетнего опыта ее автора, накопленного при изучении различных аспектов лесных экосистем, излагаются основные положения моделирования.

В зависимости от цели моделирования модели разделяются на исследовательские, демонстрационные, обучающие, прогностические и др. Часто одна и та же модель может выполнять несколько функций. Так, например, образцы новой серии автомашин на автодроме используются в исследовательских целях, а в выставочном зале - для демонстрирования особенностей внешнего вида машин данной серии. В дальнейшем рассмотрим только исследовательские модели.

Интерпретация исследовательской модели (в дальнейшем - модель) основывается на методологическом подходе, определяющем отношение между исследователем и объектом изучения. В этом плане возможны две качественно различные ситуации. В случае, не предусматривающем моделирование, исследователь получает информацию путем непосредственного изучения самого объекта. Другими словами, процесс познания характеризуется схемой: исследователь - объект изучения. При моделировании же эта схема имеет вид: исследователь - модель - объект изучения (оригинал). В этом случае между исследователем и оригиналом имеет место промежуточный объект - модель. Практически это означает, что необходимую информацию об оригинале получают посредством исследования модели. Таким образом, модель - это вспомогательный квазиобъект, находящийся в определенном объективном соответствии с познаваемым оригиналом и способный замещать его на отдельных этапах познания. Вследствие этого все то, что соответствует этим требованиям, можно называть моделью. Особенности моделей (цель, материал, способ их разработки и реализации) обуславливают возникновение большого их разнообразия. Вслед за интерпретацией понятия модели однозначное толкование получает термин "моделирование". Оно представляет собой разработку модели, ее исследование и распространение модельной информации на оригинал. Отметим, что часто встре-

чается ограниченное представление о моделировании, включающее в себя лишь один или два из упомянутых аспектов.

В чем состоит рациональное зерно моделирования? Не проще ли проводить наблюдения за оригиналом с непосредственным сбором информативного эмпирического материала? Не является ли моделирование дорогостоящей игрой или самоцелью? Теория и практика моделирования убедительно показывают, что это не так. Достоинства этого метода неоспоримы, однако с особой силой они проявляются там, где возможности традиционного подхода оказываются ограниченными или даже ничтожными. Приведем несколько характерных ситуаций. Во-первых, оригинал не поддается непосредственному исследованию. Это относится к многочисленным явлениям макро- и микромира, древнему прошлому эволюции жизни, протеканию скрытых физиологических процессов, так как их наблюдение оказывается принципиально невозможным или непосильным современным техническим средствам. Во-вторых, оригинал не подлежит экспериментированию. Например, по общепонятным причинам запрещены опыты над живыми людьми. В-третьих, очень высока степень риска или опасности возможных последствий. Именно по этой причине перед эксплуатацией самолетов, кораблей, электростанций и других сооружений на модели проверяются их различные характеристики. В-четвертых, из экономических соображений проведение исследований на модели значительно дешевле и быстрее, чем на оригинале. Приведенные примеры характеризуют всего лишь некоторые преимущества моделирования. Однако они убедительно показывают, что этот метод позволяет проводить исследования даже в таких условиях, когда непосредственное изучение оригинала невозможно или невыгодно, и, следовательно, существенно расширяет возможности исследователя.

Для успешного моделирования, в частности для получения адекватной модельной информации, любая модель должна соответствовать по крайней мере двум основным требованиям. Во-первых, модель всегда отражает лишь определенную часть оригинала и воспроизводит только те его особенности, кото-

рые выступают в качестве предмета познания. Все остальное является лишним и препятствующим разработке и исследованию модели. Поэтому стремление к абсолютному подобию следует оценивать как методологически необоснованное и даже ошибочное. Абсолютное подобие означало бы тождество, т.е. замену одного объекта или явления другим, точно таким же. В этом случае моделирование как метод познания потеряло бы смысл. С другой стороны, модель не должна быть слишком упрощенной. Степень отображения изучаемых особенностей оригинала должна соответствовать цели и заданной точности исследования, иначе модельная информация окажется неадекватной. Вследствие неадекватности модели получится искаженное представление об оригинале, а моделирование приобретет дезориентирующий характер. Если соблюдение первого требования в биологии и экологии трудностей не вызывает, то выполнение второго условия из-за чрезвычайной сложности биологических объектов является трудной задачей. Именно по этой причине подавляющее большинство предложенных моделей оказываются неприемлемыми [20].

С чего начинается моделирование? Какова технология применения этого метода? Чтобы ответить на эти вопросы, процесс моделирования условно распределим на четыре этапа и коротко охарактеризуем их.

Первый этап представляет собой качественный анализ и является основой любого объективного моделирования. Он начинается с детального изучения исследовательской задачи и всестороннего анализа уже накопленных знаний в отношении оригинала. В результате этого формулируется задача моделирования и выбирается наиболее подходящий вид модели.

По способу построения выделяют два класса моделей - материальные и абстрактные. Материальные модели сходны с оригиналом по физической природе, имеют пространственные размеры и состоят из определенной вещественной субстанции. Поэтому часто их именуют также вещественными, реальными, действительными, субстанционными и т.д. моделями. Большинство авторов их разделяют на три типа. Модели первого типа

сохраняют геометрическое подобие оригиналу. К этому типу относятся различные макеты, тренажеры для обучения управлению сложными техническими системами, искусственные заместители органов, устройства для исследования координации движений и распределения нагрузки спортсменов и т.д. Отношение моделей второго типа с оригиналом основывается на подобии протекания различных физических процессов. Поэтому их называют также физическими моделями. Примером их применения является изучение различных механических явлений на моделях, основанных на использовании закономерностей электрического тока (аналоговые электромоделели), течения воды (гидрологические модели) и т.д. Третий тип образуют природные объекты, используемые в качестве прообраза исследуемых сторон оригинала и называемые натурными моделями.

Создание материальных моделей связано с серьезными техническими, экономическими и методическими трудностями. Среди них ведущую роль играет обеспечение адекватности модели оригиналу, или обоснование приложения результатов моделирования к оригиналу. Разработанная для этого теория под-
бывает [6] в основном относится к моделированию технических задач и мало подходит для решения биологических и экологических проблем. Так, например, в лесоводстве и лесной таксации издавна основным является метод пробных площадей (натурные модели). Однако пока еще такие вопросы, как репрезентативность пробной площади, ее соответствие контролю, гомогенность совокупностей пробных площадей не нашли однозначного решения. Более того, во многих работах этим аспектам не уделяется должного внимания или они не учитываются совсем. В отношении моделей первого и второго типов проблема подобия модели оригиналу стоит еще острее. Этим и объясняется их ограниченное использование при изучении экосистем, вследствие чего более подходящими оказались абстрактные модели.

Абстрактные (также идеальные, знаковые) модели являются описанием оригинала посредством определенной системы символов и операций над ними, отражающими исследуемые

черты оригинала. По сравнению с материальными, абстрактные модели отличаются большими возможностями, так как их разработка не связана с ограничениями физического характера [29].

Абстрактные модели подразделяются на три типа: вербальные, схематические и математические. Вербальные модели представляют собой формализованный и систематизированный вариант традиционного естественнонаучного описания оригинала, состоящего из научного текста, таблиц и иллюстративного материала [38]. Они служат для выражения накопленных исследователем знаний об изучаемом оригинале. Примерами этого типа моделей являются многочисленные описания разных экосистем, содержащие поисковые элементы. Для вербальных моделей характерны, с одной стороны, универсальность, гибкость, неограниченные возможности выражения, удобство и простота их построения, с другой стороны - неоднозначность интерпретации и ограниченные поисковые возможности. Схематические модели разрабатываются в виде различных схем, рисунков, графиков и фотографий. Основные их преимущества - наглядность, информативность и простота построения, недостатки - статичность и невысокая точность при количественном изучении оригинала. В качестве ярких примеров этого типа абстрактных моделей можно привести схему двухспиральной структуры ДНК, предложенную в 1953 г. Ф. Криком и Дж. Уотсоном [18], трофические цепи и пирамиды экосистем Ч. Элтона [26, 31], схемы структуры и динамики экосистем и воздействия экологических факторов [27, 32], аэро- и космические снимки поверхности планеты, диаграмму цикла Карно, отражающую обратимый круговой процесс, в котором совершается превращение теплоты в работу (или работы в теплоту) и т.д. В биологических науках абстрактные модели первого и второго типов издавна нашли широкое самостоятельное применение. Также и в будущем ожидается неуклонное возрастание полезности такого их использования. Однако в связи с внедрением количественных методов в биологию, в частности ее математизацией, вербальные и схематические модели при-

обрели новую и перспективную область применения. Они стали неотъемлемой частью качественного анализа математического моделирования - наиболее совершенного вида количественного исследования оригинала. Ввиду этого границы между типами абстрактных моделей носят весьма условный характер.

Математическая модель - это математическое описание оригинала, отражающее его целостность, структуру, динамику, функционирование и взаимосвязи оригинала, внешних и внутренних факторов воздействия. Практически математическая модель представляет собой формулу или систему уравнений и неравенств. В зависимости от задачи моделирования уровень агрегирования может быть различным и, следовательно, математическая модель может описать один или несколько из упомянутых аспектов. Сказанное обуславливает необходимость выявления компонентов модели и их взаимосвязей с применением методологии системного подхода. Основными компонентами экосистем суши принято считать слой воздуха, почву, грунт и грунтовые воды [38]. Однако для математического моделирования этот уровень агрегирования следует признать недопустимо грубым. Соответствующие математические модели на таком уровне лишены познавательной ценности, а в качестве демонстрационных они явно уступают схематическим моделям. Кроме того, каждый такой компонент является сложной подсистемой со множеством специфических параметров и видов их проявления. Поэтому построение обширных и сложных моделей нерационально [28]. Как показывает практика моделирования, чем глубже разумная идеализация оригинала, тем достовернее полученные результаты и тем меньших усилий они требуют. Поэтому при моделировании таких сложных объектов, как, например, растительные сообщества, целесообразно создавать узкие модели, отражающие различные стороны объекта. Так, для лесного фитоценоза возможно построение геоботанической, физиологической, таксационной, эволюционной, экологической и других математических моделей, позволяющих исследовать его в различных аспектах. Единая совокупность этих моделей представляет собой комплексную математическую мо-

дель лесного фитоценоза, или его математическую теорию. Выявление компонентов завершается разработкой блок-схемы модели (схематической модели), показывающей уровень агрегирования, т.е. какие компоненты экосистемы и их взаимосвязи выбраны для моделирования. В зависимости от степени агрегирования В.Д. Федоров и Т.Г. Гильманов [38] математические модели экосистем распределяют на модели популяционного, биоценотического и экосистемного уровней. По их мнению, модели популяционного уровня описывают особенности отдельных популяций посредством уравнений, опирающихся только на их внутренние свойства и закономерности. В качестве примера они приводят модели, аппроксимирующие динамику численности и возрастного состава отдельных популяций в зависимости от рождаемости и смертности, заданных как функции только лишь от общей плотности и возрастного состава популяций. Модели биоценотического уровня задаются как системы уравнений, отражающие динамику биоценозов как функцию плотностей составляющих их популяций. Модели экосистемного уровня представляют собой системы уравнений, в число аргументов которых включены как внутренние переменные состояния, так и внешние факторы воздействия и целостные свойства экосистем. Модели этого уровня учитывают роль обратных связей в функционировании экосистем.

Агрегирование или применение блочного принципа для построения математических моделей обеспечивает специализацию исследователей с учетом специфики отдельных блоков. Более того, как подчеркивает Г.С. Розенберг [33], описание взаимосвязей параметров внутри каждого блока может быть выполнено с использованием разного математического аппарата. Например, один блок описывается системой дифференциальных уравнений, другой – вероятностными методами. Этот подход позволяет также заменить отдельные блоки и конструировать из них новую модель. При этом соподчинение блоков может быть как последовательным, так и перекрестным. Таким образом, блочный принцип способствует проведению ра-

циональной технологии моделирования.

Как уже отмечалось, каждый компонент модели выражается посредством множества различных характеристик. Поэтому неотъемлемой чертой качественного анализа является выбор только тех переменных, которые существенно передают исследуемые свойства компонентов экосистемы. При этом выясняется, какие методы, инструменты и единицы измерения будут использоваться. В зависимости от числа одновременно представленных в модели характеристик оригинала, модели подразделяются на одно-, двух-, трех- и многоцелевые. Примером одноцелевой модели служит регрессионное уравнение, аппроксимирующее закономерности формирования биомассы определенного вида растений. Если же на модели возможно изучение также качества этой биомассы (биохимическая ценность) и средообразующей роли данного вида, то такая модель относится к двух- или трех-целевым соответственно. В свою очередь, по содержательному смыслу характеристики модели она может быть структурной, поведенческой и т.д.

Не менее важное значение имеет продуманный выбор факторов воздействия, так как никакая модель не в состоянии полностью описать чрезвычайно разветвленный комплекс взаимосвязей изучаемого объекта и среды. Это весьма ответственная задача качественного анализа. С одной стороны, модели с малым числом факторов не могут достаточно точно отразить особенности оригинала, с другой — чрезмерное увеличение числа факторов сильно повышает трудоемкость как разработки модели, так и ее практического применения. Отсутствие в модели необоснованных факторов не менее важно, чем присутствие обоснованных [25].

В зависимости от цели исследования один и тот же фактор может быть существенным или несущественным. Существенность факторов проверяется различными методами (логическим, дисперсионным, ковариационным, корреляционным, регрессионным, факторным анализами и др.). Выбор факторов значительно осложняется динамикой их воздействия. В первую очередь это относится к прогностическим моделям. Здесь

фактор, не имеющий существенного значения на протяжении ретроспективного периода, через некоторое время может оказаться существенным, и наоборот.

В отношении экосистемы совокупность таких факторов, как климатические, антропогенные и др., и изучаемых ее признаков представляет собой единую динамическую систему, характер и интенсивность взаимосвязей компонентов которой меняется во времени. В течение периода вегетации или синценогенеза сила влияния отдельных факторов принимает различные значения: положительные, отрицательные, существенные и несущественные. Это обуславливает необходимость предварительного изучения временной структуры воздействия отдельных факторов.

Каждый фактор должен представляться в модели лишь посредством активных периодов его воздействия [13]. Под активным периодом понимается интервал времени, в пределах которого данный фактор оказывает существенное влияние. Без учета этих периодов возможны ситуации, когда, судя по среднему уровню влияния, т.е. в целом по всему периоду вегетации, онтогенеза или синценогенеза, воздействие существенного фактора признается несущественным, а иногда имеет даже противоположный знак. Это означает, что без изучения временной структуры воздействия нельзя решить вопрос о существенности влияния фактора и включении его в модель. Число и характер включенных в модель аргументов, в частности факторов воздействия, выполняют также классификационные функции. По числу аргументов выделяют одно-, двух-, трех- и многомерные, а по характеру — статические и динамические модели. Динамические модели, в отличие от статических, описывают изучаемые свойства оригинала в их развитии. Практически это означает, что в качестве аргументов выступают время или возраст оригинала. Например, уравнение, выражающее зависимость плотности популяции от определенного показателя условий местообитания, является одномерной статической моделью, а если эта зависимость показана также и во времени, то двухмерной динамической моделью.

Начиная с двумерной модели первостепенное значение приобретает анализ взаимообусловленности аргументов, определяющей форму влияния аргументов и степень точности ее аппроксимации. С увеличением числа аргументов лавинообразно нарастает сложность структуры их взаимосвязей. Так, повышение количества всего лишь парных взаимосвязей происходит по формуле вычисления сочетаний.

Отметим, что технология отбора аргументов математических моделей совершенно не разработана. Известно, например, что исключение или включение в модель даже одного аргумента связано со значительным изменением структуры межаргументных связей. При этом часто возможны случаи, когда такой аргумент в корреляционной матрице отнюдь не образует центр той или другой корреляционной плеяды. Пока еще не выявлены те закономерности, по которым происходит столь существенное преобразование структуры межаргументных связей и, следовательно, не разработаны алгоритмы предвидения ее изменений, отбора оптимальной совокупности аргументов, определения возможностей их частичной взаимокompенсации и т. д. Отсутствие такого методического "путеводителя", представляющего собой единое сочетание традиционных (качественных) и количественных методов значительно затрудняет первый этап математического моделирования.

Содержательные соображения, определяющие качественный анализ, могут быть различными. Однако все они используются в зависимости от цели исследования, особенностей изучаемого объекта и методологического подхода к моделированию.

В зависимости от методологического подхода различают индуктивно-эмпирические и дедуктивно-теоретические модели. Модели первой группы разрабатываются на основе индуктивного метода познания. Практически они создаются в результате математической обработки эмпирического материала. Поэтому их называют также апостериорными моделями [3]. Логическая структура таких моделей определяется формальными соображениями исследователя и особенностями способа аппрокси-

мации. Следовательно, для этих моделей характерно то, что центральное место в них уделяется аппроксимации, а теоретической интерпретации отводится второстепенная роль. Отсюда и название "эмпирические". К этой группе моделей относятся, например, различные функции роста, уравнения регрессии и другие математические выражения, полученные индуктивным путем.

На начальном этапе построения дедуктивно-теоретических или априорных моделей формулируются аксиоматические (концептуальные) предпосылки, которые в дальнейшем используются для создания рабочей гипотезы. Последнюю часто называют логической структурой модели. Адекватность любой дедуктивной модели и, следовательно, успешность моделирования в целом зависит главным образом от теоретической обоснованности аксиоматических предпосылок и от того, насколько удачна логическая структура модели. Поэтому исключительно серьезное внимание уделяется составлению концептуальной базы модели. Несомненно, решение этой задачи обуславливается конкретными особенностями исследовательской задачи. Однако во всех случаях теоретические предпосылки модели не должны противоречить как общенаучным, так и частным фактам данной биологической дисциплины. Другими словами, они не должны вызывать возражений со стороны биологов. Разумеется, исключения составляют те случаи, когда целью моделирования является проверка истинности не самой рабочей гипотезы в целом, а только лишь той или иной предпосылки.

Обусловленность результатов дедуктивно-теоретического моделирования от адекватности исходных предпосылок определяет сравнительно значительную зависимость этого вида моделирования от уровня изученности оригинала. Некоторые авторы упомянутую зависимость называют парадоксом моделирования: с одной стороны, математическое моделирование сложных процессов и структур призвано вскрыть те внутренние механизмы функционирования систем, изучение которых посредством описательных методов невозможно; с другой стороны, само моделирование возможно лишь при определенном уровне

знаний об оригинале.

Отметим, что при совместной работе биолога и математика на первом этапе моделирования ведущая роль принадлежит биологу.

Второй этап включает математическую реализацию логической структуры модели. В зависимости от характера математических методов, применяемых для описания рабочей гипотезы, индуктивные и дедуктивные модели распределяются на детерминистические и стохастические, а те, в свою очередь, на дискретные и непрерывные (индискретные). Часто логическую структуру модели можно аппроксимировать посредством различных математических методов. В таких случаях применяются те методы, которые лучше соответствуют природе оригинала и с помощью которых математическая реализация логической структуры модели принимает менее сложный вид.

Многие специалисты по теории дифференциальных уравнений считают эту теорию единственным инструментом, обеспечивающим дедуктивный подход. В соответствии с таким предположением только теория дифференциальных уравнений гарантирует получение подлинно обоснованных выводов, а другие методы, например математическая статистика, в состоянии описать лишь эмпирические закономерности. На основании этого предложена классификация математических моделей, в основу которой положена не методологическая концепция, а математический метод.

Согласно этой классификации, модели, разработанные на базе дифференциальных уравнений, называются теоретико-динамическими, а модели, при создании которых использован другой аппарат — практико-эмпирическими. С таким разделением трудно согласиться. Успех дедуктивного моделирования обеспечивается правильным выбором аксиоматических предпосылок и разработкой адекватной логической структуры модели, а математический метод, как средство реализации этой структуры, выполняет лишь второстепенную роль. Поэтому первичной основой классификации моделей следует считать методологический подход, определяющий разработку са-

мой логической структуры.

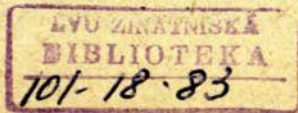
С методической и практической точек зрения лучшим признается метод, посредством которого равнозначные результаты достигаются менее трудоемким путем. Немаловажное значение имеет соответствие методического аппарата специфике оригинала. Общеизвестно, что биологические объекты имеют стохастический характер. Поэтому недооценка возможностей математической статистики в биологических исследованиях приобретает методологическое значение [4].

Из сказанного явствует, что не следует переоценивать или недооценивать возможности математических методов и методологию подчинять методическим соображениям. В каждом конкретном случае математический метод выбирается в строгом соответствии с результатами качественного анализа.

С точки зрения технологии моделирования различают аналитическую и численную математические реализации логической структуры модели. В первом случае модель представляется в виде аналитических выражений, служащих для дальнейшего всестороннего математического анализа. Аналитические модели позволяют получить качественную картину поведения оригинала в целом, без множества частных подробностей, затушевывающих ее. Поэтому аналитические модели являются основой для построения теоретических концепций, в частности теоретической экологии. Это их бесспорное преимущество. Однако ввиду чрезвычайной сложности биологических и экологических оригиналов аналитическое исследование логической структуры модели часто невозможно или нецелесообразно. Вследствие этого при решении практических задач, обусловленных необходимостью получения конкретных количественных результатов, применяются численные реализации логической структуры. Под численной реализацией модели понимается такой уровень ее разработки, при котором результаты моделирования получаются в виде чисел. Практически такая модель представляет собой программу для компьютера. Эти модели именуется также компьютерскими, так как соответствующая программа позволяет с определенным приближением на компью-

тере воспроизводить ("проигрывать") реальные явления. Аналитическим компьютерские модели уступают в отношении обобщения и объяснения происходящих в экосистемах явлений. Однако аналитические модели, будучи значительным упрощением оригинала, весьма грубо выполняют предсказательную функцию. Наоборот, в силу более подробного и обширного охвата априорной и эмпирической информации об экосистемах, компьютерские модели обладают высокой прогностической возможностью. Это обуславливает их применение в качестве основного методического аппарата научного предвидения структуры и динамики изучаемых оригиналов. В зависимости от метода разработки компьютерских моделей возможна более подробная их классификация. Особой популярностью и перспективностью отличаются имитационные и самоорганизующиеся модели [5].

Имитационные модели имеют дедуктивный характер. При их построении предпосылки формулируются менее строго. Они отражают представления исследователей о том, какие взаимосвязи имеют место в изучаемой экосистеме и как они реализуются. Как отмечает Ю.М.Свирижев [34], практически используется вся информация о структуре и функционировании экосистемы. К тому же для имитационного моделирования свойственно отказаться от каких-либо преднамеренных существенных упрощений реальной ситуации. С одной стороны, такой подход ведет к более детальному подражанию оригиналу, с другой стороны, обуславливает основные недостатки этого вида числового моделирования. Во-первых, понижение требований к основополагающим предпосылкам и логической структуре модели влечет за собой неизбежный субъективизм, отражающийся в предположениях ее авторов. Во-вторых, стремление к подробной аппроксимации оригинала выражается в виде сложной и громоздкой блок-схемы (логической структуры), реализация которой под силу лишь многочисленному коллективу исследователей, оснащенного современными компьютерами. Так, например, для построения имитационной модели злаковниковой экосистемы в США (ELM-Ecosystem Level



Model) потребовались 20 человеколет [5,7]. Практически над этой задачей работало около ста высококвалифицированных научных сотрудников из более чем 30 исследовательских институтов разных стран. На составление этой модели расходовалось более 1,5 млн. долл. в год. В-третьих, в силу своей сложности и субъективности имитационные модели мало пригодны для объяснения моделируемого аспекта, другими словами, они трудно поддаются биологической интерпретации. Главное их преимущество заключается в высокой прогностической способности.

Некоторые авторы [2,5] обязательным признаком, отличающим имитационные модели от всех других, считают, наряду с использованием ЭВМ, применение блочного принципа. П.М.Брусиковский и Г.С.Розенберг модели, при построении которых не используется этот принцип, называют квазиимитационными. Следует согласиться, что блочный принцип в имитационном моделировании играет первостепенную роль. Однако он лишен диагностического значения, так как является основополагающим свойством системного подхода, воплощению которого призвано служить не только имитационное, но и математическое моделирование вообще. Выявление блоков является неотъемлемой задачей качественного анализа и происходит на стадии агрегирования и выделения характеристик и аргументов модели, т.е. при разработке логической структуры, и не определяется последующей ее математической реализацией. Справедливой является критика термина "имитационное моделирование" [33], ибо имитация реальных ситуаций свойственна не только этому виду компьютерского моделирования, но составляет сущность моделирования вообще. Именно этим оно характеризуется как метод познания. Различным аспектам имитационного моделирования посвящено большое количество публикаций, в частности [24,35,36,39].

Самоорганизующиеся модели имеют исключительно индуктивный характер и относятся к классу регрессионных уравнений. Метод их построения - метод группового учета аргументов (МГУА) предложен А.Г.Ивахненко [10,11]. Как и все регрес-

сионные уравнения, синтез моделей по МГУА не требует глубокого понимания оригинала и механизма моделируемого явления. Сущность метода заключается в следующем. Эмпирический материал разбивается на три совокупности: обучающую, проверочную и экзаменационную. Классическая регрессионная модель от m аргументов

$$y = F(x_1, x_2, \dots, x_m) \quad (I)$$

заменяется частными описаниями, составляющими ряды селекции. Первый ряд селекции

$$y_1 = f(x_1, x_2), y_2 = f(x_1, x_3), \dots, y_s = f(x_{m-1}, x_m), S = C_m^2 \quad (2)$$

В принципе функция f может быть разной. Однако чаще всего применяется квадратичная аппроксимация

$$f(x_i, x_j) = a_0 + a_1 x_i + a_2 x_j + a_3 x_i x_j + a_4 x_i^2 + a_5 x_j^2, \quad (3)$$

коэффициенты которой определяются методом наименьших квадратов по данным обучающей совокупности. Каждое частное описание оценивается по данным проверочной совокупности с учетом определенного критерия селекции. Из существенных частных описаний строится следующий ряд селекции :

$$z_1 = f(y_1, y_2), z_2 = f(y_1, y_3), \dots, z_p = f(y_{s-1}, y_s), P = C_s^2 \quad (4)$$

с последующей оценкой частных описаний этого рода и т.д. Вследствие того, что с наращиванием рядов селекции проверочные критерии проходят через минимум, предложенная процедура позволяет на определенном шаге селекции построить нелинейную регрессионную модель наиболее подходящей сложности. Адекватность модели проверяется на экзаменационной совокупности. В качестве критерия применяется средняя квадратическая ошибка прогнозов, полученных посредством модели. В силу исключительно высокой степени нелинейности модели, построенные по МГУА, отличаются значительной точностью прогнозов поведения самых сложных

систем. Другим преимуществом этих моделей является незначительная трудоемкость (при наличии соответствующих программ и компьютеров) и относительно небольшой объем обучающей совокупности, так как частные описания представляют собой функции всего лишь двух аргументов. Модели МГУА совершенно не поддаются содержательной интерпретации и могут служить лишь в качестве аппроксимационного и прогностического аппарата.

В зависимости от задачи моделирования и особенностей конкретных оригиналов (сложность, степень изученности и пр.) модели, составленные тем или иным методом, могут оказаться как адекватными, так и далекими от реальной действительности. Поэтому актуальной задачей является дальнейшее совершенствование методики математического моделирования. Безусловно, наиболее рациональным следует признать путь синтеза рассмотренных методов. П.М. Брусиловский и Г.С. Розенберг [5] для прогнозирования поведения экосистем предлагают сингулярные прогнозы, полученные различными видами моделирования, объединить посредством МГУА. С этой целью сингулярные прогнозы причисляются к аргументам, и составляется модель МГУА. По мнению упомянутых авторов, таким образом обеспечивается использование всей достигнутой информации — как априорной, так и апостериорной. В приведенном ими примере после объединения лишь имитационного и МГУА методов прогноз динамики фитомассы исследованных растительных сообществ улучшился почти в два раза.

Третий этап моделирования предусматривает проведение верификации модели. Под этим термином понимается проверка соответствия модели оригиналу, т.е. в какой степени модель воспроизводит изучаемые свойства оригинала. Данному этапу моделирования принадлежит первостепенное значение.

Ведь моделирование имеет смысл только тогда, когда модель адекватно отражает особенности оригинала. В противоположном случае манипуляции с моделью не выходят за рамки увлекательной игры, поскольку модельная информация не подлежит распространению на оригинал.

Причины неадекватности модели могут быть различными. Наиболее часто неадекватность модели указывает на выбор ошибочных аксиоматических предпосылок, неправильную логическую структуру модели и недостаток эмпирического материала. Другой распространенной причиной неадекватности модели является небрежное отношение исследователя к биологической специфике оригинала. Методические ошибки допускаются также при математической реализации логической структуры модели, что объясняется тенденциозным стремлением ряда исследователей во чтобы то ни стало во всех случаях пользоваться привычным для них математическим аппаратом. Это в подавляющем большинстве случаев приводит к чрезмерному упрощению модели. Например, при экосистемном моделировании не учитываются гетерогенность видового состава, пространственная и временная структуры, многообразие взаимоотношений компонент и другие аспекты строения и функционирования экосистем. Такой ограниченный подход исследователей понятен, так как одновременное овладение достаточно глубокими знаниями по биологии, экологии и математике - чрезвычайно сложная задача. Однако именно это является прочным залогом успешного применения математических методов, в частности математического моделирования, в биологии и экологии. Односторонние знания, равно как и поверхностное отношение к исследовательскому делу, не только определяют появление многочисленных несостоятельных моделей и серое однообразие в методическом плане, но и дискредитируют в глазах биологов и экологов саму идею целесообразности математического моделирования, создавая впечатление, будто возможности этого метода познания исчерпаны.

Наилучшим способом проверки адекватности модели является сопоставление модельной информации с данными, полученными в результате наблюдения за оригиналом. Такой способ называется эмпирической проверкой модели. Характерно, что при этом не используется та информация об оригинале, на основе которой разработана модель. В соответствии с данным способом проводятся повторные наблюдения за оригина-

лом, и посредством математической статистики проверяется, с какой точностью и достоверностью модель отражает изучаемые свойства оригинала. Если при достаточном числе повторений выход модели воспроизводится в пределах заданной точности, то модель признается адекватной и формулируются условия ее применения. В противоположном случае модель подлежит доработке. Модель считается особенно высококачественной, если прогнозы, сделанные на ее основе, оправдываются.

При верификации сложных, например, динамических моделей экосистемного уровня полное сопоставление модельной информации с данными, полученными на оригинале, оказывается ограниченным в силу отсутствия соответствующего эмпирического материала. В таких случаях проводится частная или частичная верификация, включающая сравнение результатов моделирования и наблюдений в характерных точках временной оси. Как указывает Р. Сайерт [38], могут сопоставляться: число точек экстремума; их распределение во времени; направление изменения в точках экстремума; амплитуда возмущений на одних и тех же отрезках времени; средние значения переменных; одновременность экстремальных точек для разных переменных и т.д.

При полном отсутствии возможностей применения эмпирической проверки проводится теоретическая верификация модели. На основе теоретических соображений и информации, использованной при создании модели, определяются область применения, ожидаемая точность и прогностические зоны модели.

Четвертый этап включает в себя изучение модели, экспериментирование с моделью и биологическую интерпретацию модельной информации. По словам Р. Р. Мак-Лоуна [19], "следует отчетливо осознавать как математический смысл полученных решений, так и то, что они означают на языке реального мира, который математика призвана описывать" (с.14). Основная цель этого этапа - выявление новых закономерностей и исследование возможностей оптимизации структуры и управления поведением моделируемой системы, а также пригодность модели для

прогнозирования. Немаловажное значение имеет возможность упрощения модели и выявления новых перспективных направлений в исследовании оригинала. Адекватная модель позволяет определять состояние оригинала при любых значениях параметров и независимо от того, у какого элемента этой системы изменяются параметры. Поэтому с помощью такой модели можно прогнозировать состояние системы и в том случае, если один или несколько воздействующих факторов достигают экстремальных значений и могут вызвать патологические сдвиги в отдельных элементах, а вместе с тем и в функционировании всей системы. Посредством такой модели можно прогнозировать, какими факторами, в каких количествах, как и на какие элементы системы следует непосредственно воздействовать, чтобы привести ее в заданное состояние, т.е. решать задачи регулирования управления системы. Отметим, что исследование с помощью модели — это разовый акт, а сложный диалектический процесс, в ходе которого модели развиваются, обогащаются информацией о моделируемых объектах.

Далее приводятся примеры упомянутых видов математического моделирования, нашедшие применение в лесном хозяйстве и экологии.

Первый пример. Дедуктивно-стохастическое моделирование [17]. Задача моделирования — изучение влияния структуры древостоя на точность определения его суммы площадей сечений методом В. Виттерлиха. Сумма площадей сечений относится к основным таксационным показателям древостоев. Она служит для вычисления запаса и текущего прироста по запасу. Зная структуру суммы площадей сечений, т.е. имея данные о распределении общей суммы по отдельным ярусам, древесным породам и ступеням толщины, представляется возможным произвести сортиментацию и денежную оценку древостоев как в момент выполнения полевых работ, так и прогнозировать состояние и стоимость древостоев за определенный период времени вперед. Определение структуры суммы площадей сечений пока еще является трудоемкой работой, так как оно связано со сплошным пересчетом всех деревьев древостоя. Общая сумма,

как известно, с допустимой погрешностью устанавливается на основе принципа В. Биттерлиха [1], что приносит значительную экономию времени и средств. Весьма эффективным представляется применение этого принципа и для выявления структуры общей суммы. Однако практическое решение проблемы сопряжено с рядом трудностей. Не установлено минимальное число угловых пробных площадей В. Биттерлиха, обеспечивающее необходимую точность распределения запаса. Число повторностей, рекомендуемое лесоустроительной инструкцией для определения общей суммы площадей сечений древостоя, является недостаточным. Кроме того, неизвестно, как на точность определения суммы площадей сечений отдельных структурных элементов влияют: распределение числа деревьев по ступеням толщины, видовой состав древостоя, полнота, класс бонитета, возраст, средние диаметр и высота, число и территориальное распределение деревьев и базисных точек (центров угловых пробных площадей В. Биттерлиха).

Такой вопрос возникает в связи с высокой степенью дискретности, свойственной методу В. Биттерлиха. В соответствии с этим методом каждое учетное дерево представляет $1\text{ м}^2/\text{га}$ суммы площадей сечений. Это означает, что при общей сумме 20-30 $\text{м}^2/\text{га}$ одно учетное дерево составляет 3-5%. Однако в сложных смешанных насаждениях количество учетных деревьев в отдельных ступенях толщины данной древесной породы и яруса значительно меньше, следовательно, и ошибка определения суммы площадей сечений соответственно больше. Ее снижение путем повышения числа угловых пробных площадей связано с существенным приростом объема полевых работ, что, быть может, делает неприемлемым метод В. Биттерлиха для определения суммы площадей сечений структурных элементов древостоя.

Чтобы ответить на поставленный вопрос эмпирическим путем, следовало бы закладывать и обрабатывать огромное количество пробных площадей. Последовательность необходимых операций следующая: I) выбор и отыскивание местонахождения древостоев с фитоценотической и таксационной характери-

кой, интересующей исследователя; 2) закладка пробных площадей и сплошной пересчет всех деревьев; 3) определение общей суммы площадей сечений и сумм отдельных ступеней толщины методом В. Биттерлиха; 4) вычисление этих сумм по данным сплошного пересчета деревьев, подсчет процентного соотношения суммы отдельных ступеней толщины по данным сплошного пересчета и результатам, полученным методом В. Биттерлиха; 5) сопоставление и анализ этих сумм соответствующих ступеней толщины.

Первые три операции представляют собой длительную и трудоемкую работу в полевых условиях, связанную с перемещением бригады исполнителей этой работы с одного местонахождения древостоев к другому. Только лишь четвертая и пятая операции легко реализуются с помощью компьютера и тем самым трудностей не вызывает.

Для более рационального решения данной задачи подходит дедуктивно-стохастическое моделирование, так как выполнение и первых трех операций не трудно поручить электронно-вычислительной машине. В качестве концептуальной базы принимаются четыре предпосылки. Первая из них следует непосредственно из теории В. Биттерлиха - расстояние от каждого учетного дерева до центра угловой пробной площади меньше 50-кратного диаметра дерева. Вторая и третья предпосылки определяют размещение учетных деревьев и базисных точек по территории насаждения (случайное, регулярное). Четвертой предпосылкой допускается нормальная видимость в реальных насаждениях. Это позволяет имитировать в памяти компьютера модельный древостой с любой таксационной характеристикой.

Процедура моделирования полевых работ таксатора совпадает с последовательностью их выполнения при эмпирическом подходе: 1) ввод в память машины данных, характеризующих состав и форму насаждения, количество деревьев и их распределение по ступеням толщины; 2) вычисление теоретических значений соответствующих сумм площадей сечения; 3) проверка соответствия каждого дерева первой предпосылке.

Проверка соответствия каждого дерева первой предпосылке является логической схемой моделирования поставленной задачи. Аналитически первая предпосылка выражается в виде неравенства

$$\sqrt{(x_s - a_{ij})^2 + (y_s - b_{ij})^2} < 50 d_i, \quad \begin{matrix} i = 1, 2, \dots, k; \\ j = 1, 2, \dots, n, \end{matrix} \quad (5)$$

- где x_s, y_s - координаты s -й базисной точки;
 a_{ij}, b_{ij} - координаты j -го дерева, принадлежащего к i -й ступени толщины;
 d_i - диаметр i -й ступени толщины;
 k - число ступеней толщины;
 n - число деревьев в модельном насаждении.

Если принимается, что вероятность нахождения в любой точке территории насаждения одинакова для всех деревьев (вторая предпосылка), то координаты местонахождения отдельных деревьев модельного древостоя являются случайными числами. Ввиду этого машина для каждого дерева, заданного в ее памяти парой случайных чисел, проверяет неравенство (5) и учитывает те деревья, для которых оно справедливо. Затем меняются координаты x_s и y_s и снова проверяется неравенство. Координаты базисных точек определяются или по способу случайных чисел, или по принципу регулярного размещения этих точек на воображаемой территории имитируемого древостоя (третья предпосылка). При этом для координат x_s и y_s также соблюдается соответствие первой предпосылке. Соблюдение этого условия обязательно также в реальных условиях работы таксатора. Нарушение его приводит к тому, что обследуется не полная круговая площадь, а только часть ее. В результате получаются сниженные суммы площадей сечений крупных ступеней толщины, вследствие чего они несопоставимы с данными сплошного перечета деревьев на пробных площадях. Описанным образом машина имитирует работу таксатора до тех пор, пока число базисных точек не достигает заданной величины.

Результаты моделирования подтвердили адекватность при-

менения принципа В. Биттерлиха для определения не только общей суммы площадей сечений, но и распределения этой величины по ступеням толщины и другим совокупностям деревьев.

Второй пример. Дедуктивно-детерминистическое моделирование [8]. Задача моделирования - исследование динамики популяции первичных консументов (травоядных животных). Допускается, что в данном примере динамика численности $N(t)$ обуславливается следующими предпосылками: 1) в любой момент времени t изменение количества особей популяции происходит под воздействием двух качественно противоположных процессов - размножения особей и их естественной смерти; 2) размножение лимитируется численностью популяции $N(t)$ и уровнем внешнего источника энергии (пищи), обеспечивающим нормальную жизнедеятельность номинальному количеству особей M ; 3) в течение времени t номинальное количество консументов не меняется, т.е. $M(t) = M$; 4) естественная смертность особей является пропорциональной их численности; 5) размножение не зависит от возрастной и половой структуры популяции. В этом примере закономерности, регулирующие динамику численности популяции, сформулированы в упрощенном виде. Это сделано намеренно, с целью нагляднее продемонстрировать ход дедуктивно-детерминистического моделирования. Развернутое моделирование динамики разных популяций см. в [20, 21, 24, 28, 30, 34, 35, 36, 37].

В соответствии с первой предпосылкой скорость изменения численности популяции выражается уравнением

$$\frac{dN}{dt} = a_1 p_1 - a_2 p_2, \quad (6)$$

где a_1, a_2 - коэффициенты;

p_1, p_2 - интенсивность размножения и смертности особей соответственно.

Из второй, третьей и пятой предпосылок следует: если число особей $N(t)$ меньше, чем M , популяция не испытывает недостатка в пище и интенсивность ее размножения можно считать пропорциональной численности $N(t)$; и наоборот,

рот, если $N(t)$ превосходит M , то только M особей могут вести нормальный образ жизни и поэтому интенсивность размножения ρ_1 будет пропорциональна лишь M . Четвертая предпосылка обуславливает, что $\rho_2 = N(t)$. Если это так, то динамика популяции аппроксимируется посредством дифференциального уравнения

$$\frac{dN}{dt} = \begin{cases} a_1 N(t) - a_2 N(t), & \text{если } N(t) \leq M; \\ a_1 M - a_2 N(t), & \text{если } N(t) > M. \end{cases} \quad (7)$$

Результат решения уравнения (7) - это аналитическая реализация разрабатываемой математической модели. Не останавливаясь на подробном изложении хода решения уравнения (7), запишем лишь его результат.

$$N(t) = \begin{cases} N_0 e^{(a_1 - a_2)t}, & \text{если } N(t) \leq M; \\ N_0 e^{-a_2 t} + \frac{a_1 M}{a_2} (1 - e^{-a_2 t}), & \text{если } N(t) > M. \end{cases} \quad (8)$$

Ввиду исключительной простоты модели (8) ее исследование удобно проводить аналитически. В том случае, если модели более сложные, составляются программы для компьютера, реализующие имитационное или численное их изучение.

Анализ модели (8) представляет собой выявление закономерностей изменения численности популяции в зависимости от значений параметров a_1 , a_2 , M и начальной численности N_0 . Значения коэффициентов a_1 и a_2 всегда положительны. Это следует из их содержательного смысла, ибо размножение особей может лишь повысить, а их смертность - понизить численность популяции. В силу того, что разность коэффициентов $a_1 - a_2$ является показателем экспоненты, численность популяции существенно изменяется в зависимости от ее знака.

Случай $a_1 < a_2$. Следовательно, $a_1 - a_2 < 0$ и $a_1 M / a_2 < M$. Поэтому при начальной численности меньше ее номинального уровня, т.е. $N_0 < M$.

$$N(t) = N_0 e^{(a_1 - a_2)t}. \quad (9)$$

Так как показатель экспоненты отрицательный, то $N(t) < N_0$, и численность популяции будет всегда меньше M . К тому же если $t \rightarrow \infty$, то $N(t) \rightarrow 0$. Это означает, что популяция неуклонно вымирает.

Если же начальная численность $N_0 > M$, то согласно условию (7) вначале численность популяции аппроксимируется уравнением

$$N(t) = N_0 e^{-a_2 t} + \frac{a_1 M}{a_2} (1 - e^{-a_2 t}). \quad (10)$$

В этом случае численность популяции также убывает. Такой вывод обуславливается отрицательным значением выражения

$$\frac{dN}{dt} = a_1 M - a_2 N(t), \quad (11)$$

которое следует из условия $a_1 < a_2$ и $M < N(t)$. Кроме того, при $t \rightarrow \infty$ $N(t) \rightarrow a_1 M / a_2$, так как остальные члены уравнения (10) содержат экспоненты с отрицательными показателями. После достижения номинального уровня в динамике популяции происходят качественные изменения и, в силу того, что имеет место $N_0 < M$, уменьшение численности популяции продолжается до нуля согласно закономерности (9).

Итак, при значениях коэффициентов $a_1 < a_2$ происходит вымирание популяции вне зависимости от ее начальной величины N_0 и конкретных значений a_1 , a_2 и M .

Случай $a_1 > a_2$. Следовательно, $a_1 - a_2 > 0$ и $a_1 M / a_2 > M$. Если $N_0 > M$, то динамика численности популяции описывается уравнением (10). Поэтому при $t \rightarrow \infty$ $N(t) \rightarrow a_1 M / a_2$. К тому же если $M < N_0 < a_1 M / a_2$, численность популяции монотонно возрастает, а если $N_0 > a_1 M / a_2$, - монотонно убывает.

Если же вначале $N_0 < M$, то, согласно выражению (9), имеющему положительный показатель экспоненты, численность популяции будет расти экспоненциально до номинального уровня M . После этого станет $N_0 > M$ и $N(t)$ будет стремиться к $a_1 M / a_2$ (уже рассмотренный случай $M < N_0 < a_1 M / a_2$).

Величина $a_1 M / a_2$ выражает уровень равновесия числен-

ности популяции, определяемый внутренними закономерностями развития популяции (коэффициенты a_1 и a_2) и внешним лимитирующим фактором - обеспеченностью пищей.

Третий пример. Индуктивно-детерминистическое моделирование [12, 14]. Задача моделирования - разработка модели текущего прироста по запасу наличного древостоя. Текущий прирост по запасу наличного древостоя - это показатель, характеризующий увеличение запаса наличного древостоя в зависимости от изменения параметров древостоя. А если это так, то текущий прирост по запасу представляет собой полный дифференциал запаса. Из сказанного следует, что для определения текущего прироста по запасу запас древостоя необходимо выразить в виде формулы и из нее найти полный дифференциал. При этом чем проще и точнее будет формула запаса древостоя, тем подробнее и удобнее будет определяться полный дифференциал ее.

Формула запаса, учитывающая биологические особенности древесных пород и конкретные условия произрастания лесных фитоценозов в Латвии, была разработана индуктивно-эмпирическим путем на основе выборочной совокупности, состоящей из 3527 модельных деревьев.

$$M = k G (H + 4), \quad (12)$$

- где M - запас наличного древостоя, $m^3/\text{га}$;
 G - сумма площадей сечений этого древостоя, $m^2/\text{га}$;
 H - средняя высота древостоя, m ;
 k - коэффициент полндревности стволов, зависящий от древесной породы (см. табл.).

Проверка соответствия формулы (12) проведена по данным 443 пробных площадей, заложенных в чистых и смешанных одновозрастных насаждениях, представляющих большое разнообразие лесорастительных условий (тип леса, класс бонитета, полнота, возраст, распределение числа деревьев по ступеням толщины). Проверка показала высокую адекватность

формулы (12). Так, при практическом отсутствии систематической ошибки (не более 1%) среднеквадратичная ошибка составляет менее 5% для всех лесообразующих древесных пород Латвии (сосна, ель, береза, осина, ольха черная, ольха серая). Кроме того, она соответствует требованиям в отношении малой трудоемкости и простоты. Единственное ограничение ее применения относится к средней высоте древостоев: для сосны $8 \leq H \leq 35$, для ели и ольхи черной $10 \leq H \leq 35$; для березы и осины $15 \leq H \leq 35$ и для ольхи серой $6 \leq H \leq 25$. Следовательно, формула (12) применима для дифференцирования в качестве основы при выведении модели текущего прироста по запасу наличного древостоя.

Полный дифференциал формулы запаса (12), а следовательно, и текущий прирост по запасу наличного древостоя

$$dM = \kappa [(H+4) dG + G dH], \quad (13)$$

где dH - дифференциал средней высоты, или текущий прирост по высоте;

dG - дифференциал суммы площадей сечений, или текущий прирост по сумме площадей сечений;

κ, G, H - те же, что и в формуле (12).

Текущий прирост запаса, определяемый по формуле (13), должен немного превышать действительную величину, так как параметры G и H характеризуют состояние древостоя в момент их измерения, но в принципе эти данные следовало бы брать в конце предыдущего года. Учитывая прирост последнего года, получаем:

$$\begin{aligned} dM &= \kappa [(H - dH - 4) dH + (G - dG) dH] = \\ &= \kappa [dG(H - 2dH + 4) + dH \cdot G], \end{aligned}$$

а после замены соответствующих дифференциалов на применяемые в лесной таксации символы текущего прироста Z_M , Z_G и Z_H имеем:

$$Z_M = \kappa [Z_G(H - 2Z_H + 4) + Z_H G]. \quad (14)$$

Текущий прирост по сумме площадей сечений в лесном фиденозе непосредственно не измеряется. Для определения этого показателя его следует выразить через легко измеримые в лесу величины - средний диаметр древостоя и текущий прирост по диаметру. Учитывая, что текущий прирост по сумме площадей сечений является дифференциалом суммы площадей сечений, т.е.

$$Z_G = dG = \left(N \frac{\pi D^2}{4} \right)' dD,$$

где

$$Z_G = \frac{\pi N D}{2} Z_D,$$

где N - число деревьев наличного древостоя

$$N = 4G / \pi D^2,$$

$$Z_G = \frac{\pi N D}{2} Z_D = \frac{4\pi G D}{2\pi D^2} = \frac{2G}{D} Z_D,$$

с учетом текущего прироста по диаметру и сумме площадей сечений в данном году

$$Z_G = \frac{2Z_D(G - Z_G)}{D - Z_D},$$

откуда

$$Z_G D - Z_D Z_G = 2Z_D G - 2Z_D Z_G,$$

$$Z_G D + Z_D Z_G = 2Z_D G;$$

$$Z_G (D + Z_D) = 2Z_D G;$$

$$Z_G = \frac{2Z_D G}{D + Z_D}. \quad (15)$$

Введя в (14) текущий прирост суммы площадей сечений (15), учитывая, что средний диаметр древостоя определяется в сантиметрах, а текущий прирост по диаметру - в миллиметрах, и упрощая полученное выражение, получаем окончательную модель текущего прироста по запасу наличного древостоя

$$Z_H = kG \left[\frac{2Z_D (H - 2Z_H + 4)}{10D + Z_D} + Z_H \right], \quad (16)$$

где Z_M - текущий прирост по запасу наличного древостоя, м³/га;

Z_D - текущий прирост по диаметру на высоте груди наличного древостоя; мм;

Z_H - текущий прирост по высоте наличного древостоя, м;

D - средний диаметр на высоте груди наличного древостоя, см;

K, G, H - те же, что и в формуле (I2).

Таксационные показатели H, D, G и Z_D измеряются в лесу или вычисляются по общеизвестным правилам лесной таксации [I]. Текущий прирост по высоте древостоя в насаждении непосредственно не измеряется. Поэтому посредством индуктивно-эмпирического подхода была разработана модель текущего прироста по высоте [I2].

$$Z_H = \frac{2iH(aD+b)}{cD+100}, \quad (I7)$$

где i - средняя ширина древесных колец на высоте груди, мм;

H, D - те же, что и в формуле (I2);

a, b, c - эмпирические коэффициенты (см. табл.).

Особый интерес и практическую ценность представляет влияние коры на текущий прирост по запасу. Ввиду того, что в Советском Союзе учет древесных запасов проводится в коре, текущий прирост по запасу также следует определить в коре. В противоположном случае в расчетах будет допущено систематическое смещение в сторону занижения динамики древесных ресурсов. Прирост по диаметру, полученный в виде удвоенной ширины древесного кольца, не соответствует истинной величине, так как не включает в себя прирост коры. Прирост коры не поддается непосредственному измерению. Соответствующая модель [I2]

$$Z_D = 2iu, \quad (I8)$$

где u - эмпирический коэффициент (см. табл.);

Значения эмпирических коэффициентов

Древесная порода	к	а	б	с	р	q	ш	и
Сосна	0,390	-0,06416	6,356	27,105	20,60	143,9	19,53	1,103
Ель	0,415	-0,02560	1,693	5,794	5,25	117,6	5,00	1,046
Береза	0,385	-0,07276	-1,510	-35,714	0,20	110,2	0,02	1,095
Осина	0,405	-0,03569	2,352	12,829	0,78	109,9	0,67	1,061
Ольха черная	0,400	0,00500	7,240	90,909	-0,55	119,0	-0,36	1,081
Ольха серая	0,380	0,09580	3,478	45,988	-49,10	93,3	-45,83	1,050

$Z_{D,i}$ - те же, что и в формулах (16) и (17).

Наряду с текущим приростом по запасу в коре большое значение имеет прирост по запасу без коры (древесный прирост). Этот показатель вычисляется делением прироста по запасу в коре на коэффициент коррекции s .

$$s = \frac{pD + q}{wD + 100} \quad (19)$$

где D - средний диаметр древостоя в коре, см;

p, q, w - эмпирические коэффициенты (см. табл.).

Адекватность модели (16) проверена по данным 443 пробных площадей. При практическом отсутствии систематической ошибки среднеквадратичная ошибка не превышает 5%. К тому же область применения модели охватывает все древостои, за исключением молодняков. Это свидетельствует о высокой адекватности индуктивно-детерминистической модели такого сложного биологического явления, как прирост запаса древостоев.

Формула (16) представляет собой аналитическую модель текущего прироста по запасу наличного древостоя. Она отражает взаимосвязь основных таксационных показателей древостоя. Видно, что средняя высота, текущие прироста по диаметру и высоте и сумма площадей сечений оказывают прямопропорциональное, а средний диаметр древостоя - обратнопропорциональное влияние на прирост по запасу. Программа для ЭВМ, реализующая численное решение модели (16) в заданных интервалах ее параметров, является компьютерской моделью текущего прироста. Ввиду того, что в производственных условиях более удобной признана табличная форма воплощения модели, составлены соответствующие таблицы текущего прироста древостоев основных лесообразующих пород Прибалтики [15] и ели карпатской [16].

Четвертый пример. Индуктивно-стохастическое моделирование [22, 23]. Задача моделирования - разработка модели прогнозирования семенной продуктивности хвойных интродуцентов. В качестве модельных объектов избраны группы 60-70-летних

древьев тсуги канадской (*Tsuga canadensis* Carr.) и ели сербской (*Picea omorika* Purk.). Интродуценты были избраны потому, что они обычно более чувствительны к воздействию метеорологических факторов. Отбор факторов, существенно влияющих на урожай будущего года y , и определение их критических периодов производилось посредством корреляционного анализа за 16-летний ретроспективный период. Существенными оказались: X_1 - сумма физиологически активной температуры за критический период (третья декада июля по вторую декаду августа - для обеих древесных пород), в тысячах градус-часов; X_2 - средний дефицит влажности воздуха за критический период (вторая декада июля по первую декаду августа - для тсуги канадской и третья декада июля по вторую декаду августа - для ели сербской), в млб; X_3 - нагрузка маточника урожаем текущего года, в баллах. Отметим, что данные о средних календарных сроках критических периодов, определенных с помощью корреляционного анализа, совпадают с результатами, полученными морфо-физиологическими методами.

Для повышения адекватности модели оценку нагрузки маточника, выраженную в баллах, необходимо предварительно трансформировать [9]. Это обусловливается тем, что единицы визуального определения количества шишек и плодов - баллы - характеризуются высокой степенью дискретности и, к тому же не отражают количественно одинаковые интервалы. Так, при наличии в среднем менее 1,5 шишек на 1 пог. м ветвей (в среднем по всей кроне) количество урожая оценивается 1 баллом (интервал не больше 1,5 шишки). Баллу 2 соответствуют 1,5-5 шишек (интервал в 3,5 шишки), баллу 3 - 5,1 - 15 шишек (интервал в 9,9 шишки), баллу 4 - 15,1 - 35 шишек (интервал в 19,9 шишки) и баллу 5 - более 35 шишек. Трансформация проведена по формуле (20):

$$x'_3 = 1,27 + 0,242x_3 + 0,148x_3^2 - 0,0197x_3^3 \quad (20)$$

На основании данных за 16-летний ретроспективный период разработана модель прогноза урожая шишек следующего

года в виде уравнения линейной множественной регрессии:

$$y' = 0,122 + 0,015x_1 + 0,247x_2 - 0,122x_3 \quad (21)$$

Полученный прогнозируемый показатель (y') ретрансформируется в баллы по формуле (22):

$$y = -2,25 + 1,875 y' \quad (22)$$

Оценка репрезентативности этой модели по коэффициенту множественной детерминации (квадрат коэффициента множественной корреляции) показала, что прогнозирующие регрессоры (x_1, x_2, x_3) отражают лишь 47,6% общего влияния всего комплекса факторов. Это свидетельствует о том, что, кроме прямого (линейного) воздействия отобранных регрессоров, значительное влияние оказывает их взаимодействие. Возможно также, что за пределами внимания авторов модели остались факторы, существенно обуславливающие формирование урожая шишек будущего года.

Хотя линейная модель и существенна (проверена по критерию Стьюдента), для практического применения она не пригодна. В качестве нелинейной модели, частично учитывающей влияние межфакторальной зависимости, теми же авторами предложена квадратичная аппроксимация:

$$y = 31,57 - 5,138x_1 - 3,302x_2 - 30,882x_3 + 0,643x_1x_2 + 4,665x_1x_3 + 3,613x_2x_3 - 1,639x_1x_2x_3 + 0,0882x_1^2 - 0,00101x_2^2 + 0,881x_3^2 \quad (23)$$

Коэффициент множественной детерминации показывает, что посредством модели (23) объясняются 79% общего варьирования урожая шишек. Эмпирическая верификация модели (23) также свидетельствует о достигнутой ее адекватности. Так, например, для тсуги канадской спрогнозированная на 1970 г. величина урожая шишек по модели (23) была 3,9 балла. Фактическая же величина оказалась 4 балла. Сходные результаты верификации получены и в последующие годы. Улучшение точности прогнозов связано с включением в модели новых регрессоров и повышением степени нелинейности, например,

посредством метода группового учета аргументов.

В предлагаемом кратком обзоре рассматривались разные подходы, технология и способы математического моделирования экологических объектов. Приведены примеры, характеризующие удачное применение этого вида познания. Показана опасность переоценки или недооценки возможностей отдельных видов моделирования. Практика убедительно доказывает, что такой механистический подход неизбежно ведет к методической односторонности и подчиненности биологических особенностей оригиналов специфике математического аппарата, что является грубой методологической ошибкой, обнаруживающей неподготовленность исследователя к решению биологических проблем.

Список литературы

1. Агучин Н.П. Лесная таксация. - М., 1977.
2. Беллман Р. Динамическое программирование. - М., 1960.
3. Беляев В.И. Теория сложных геосистем. - Киев, 1978.
4. Берг А.И., Бирюков Б.В., Маркова Е.В. Методология сложных систем и проблемы биосферы. - В кн.: Методологические аспекты исследования биосферы. М., 1975, с. 220-244.
5. Брусилковский П.М., Розенберг Г.С. Имитация, самоорганизация и экология. - Уфа, 1981.
6. Веников В.А. Теория подобия и моделирования. Применительно к задачам электроэнергетики. - М., 1966.
7. Гильманов Т.Г. Некоторые итоги моделирования травяных экосистем в США в рамках Международной биологической программы. - В кн.: Биогеофизические и математические методы исследования геосистем. М., 1978, с. 19-35.
8. Горстко А.Б., Сурков Ф.А. Математика и проблемы сохранения природы. - М., 1975.

9. Дрике А.Я. Степень соответствия прогноза урожая семян хвойных экзотов в зависимости от способа трансформации эмпирического материала. - В кн.: Моделирование и прогнозирование в ботанике. Ученые записки ЛГУ им. П. Стучки, Рига, 1971, т. 153, с. 58-62.
10. Ивахненко А.Г. Долгосрочное прогнозирование и управление сложными системами. - Киев, 1975.
11. Ивахненко А.Г. Система эвристической самоорганизации в технической кибернетике. - Киев, 1971.
12. Лиела И.Я. Динамика древесных запасов. Прогнозирование и экология. - Рига, 1980.
13. Лиела И.Я. Методика составления хронологической схемы активных периодов влияния факторов воздействия. - В кн.: Ель и ельники в Латвии. Рига, 1975, с. 152-158.
14. Лиела И.Я. Текущий прирост запаса наличного древостоя как полный дифференциал запаса. - В кн.: Вопросы биологии. Рига, 1969, с. 13-23.
15. Лиела И.Я., Бутенас Ю.П., Матузанис Я.К. Таблицы текущего прироста древостоев Прибалтики. - Рига, 1980.
16. Лиела И.Я., Голояд Б.Я. Таблицы текущего прироста и процента текущего прироста по запасу древостоев ели карпатской. - Ужгород, 1975.
17. Лиела И.Я., Поспелова Г.Е., Винарт А.Я. Вероятностное моделирование структуры суммы площадей сечений древостоев. - В кн.: Моделирование и прогнозирование в ботанике. Ученые записки ЛГУ им. П. Стучки, Рига, 1973, т. 181, с. 77-82.
18. Лобашев М.Е. Генетика. - Л., 1967.
19. Мак-Лоун Р.Р. Математическое моделирование - искусство применения математики. - В кн.: Математическое моделирование: Перев. с англ. М., 1979, с. 9-20.
20. Математическая теория биологических процессов. - Калининград, 1976.

21. Математическое моделирование в экологии. Материалы III школы по математическому моделированию сложных биологических систем.-М., 1978.
22. Мауринь А.М., Лица И.Я., Дрике А.Я. Математическое моделирование в прогнозировании семенной продуктивности хвойных растений. - В кн.: Половая репродукция хвойных (Материалы I-го Всесоюзного симпозиума, 16-20 апреля 1973 г.) П.Новосибирск, 1973, с.175-182.
23. Мауринь А.М., Тардов Б.Н. Биологическое прогнозирование - Рига, 1975.
24. Меншуткин В.В. Математическое моделирование популяций и сообществ водных животных.-Л., 1971.
25. Нюберг Н.Д. О познавательных возможностях моделирования.- В кн.: Математическое моделирование жизненных процессов. М., 1968, с.136-151.
26. Одум Ю. Основы экологии.-М., 1975.
27. Пианка . Эволюционная экология. - М., 1981.
28. Полетаев И.А. Некоторые математические модели биогеоценозов и замечания о моделировании.- В кн.: Математическое моделирование жизненных процессов. М., 1968, с.124-135.
29. Полетаев И.А. О математических моделях элементарных процессов в биогеоценозах.- В кн.: Проблемы кибернетики, 16. М., 1966, с.171-190.
30. Полуэктов Р.А., Пых Ю.А., Швытов И.Я. Динамические модели экологических систем. - Л., 1980.
31. Рамад Ф. Основы прикладной экологии.-Л., 1981.
32. Риклефс Р. Основы общей экологии.-М., 1979.
33. Розенберг Г.С. Состояние и проблемы имитационного моделирования фитоценологических систем.- Успехи современной биологии, М., 1981, вып.2, том.91, с.293-307.

34. Свирижев Д.М. Математические модели биологических сообществ. - В кн.: Итоги науки и техники. Математическая биология и медицина. М., 1978, т. I, с. 117-165.
35. Свирижев Ю.М., Елизаров Е.Я. Математическое моделирование биологических систем. - Проблемы космической биологии. М., 1972, т. XX.
36. Свирижев Ю.М., Логофет Д.О. Устойчивость биологических сообществ. - М., 1978.
37. Смит Дж.Н. Модели в экологии: Перев. с англ. - М., 1976.
38. Федоров В.Д., Гидматов Т.Г. Экология. - М., 1980.
39. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем - искусство и наука. М., 1978.

Р.Г. Баранцев
ЛГУ им. А.А. Жданова (Ленинград)

ПОЛИТОМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА

Системная экология — провоз-
вестник будущего.

Ю. Одум.

Синтетический характер экологии: не только отвечает духу современной эпохи, но и во многом определяет его. Системный анализ и целостный подход становятся необходимыми свойствами научного исследования. Однако практика моделирования экологических систем показывает, что существующие теории часто оказываются недостаточными для описания сложных реальных явлений. Экология остро нуждается в более совершенных моделях системного подхода.

Одно из наиболее слабых мест современной системологии — дихотомичность моделирования. Схемы типа "хищник-жертва" не дают ответа на многие важные вопросы [1]. Изучая совокупность связей между организмами и средой, экология не может игнорировать взаимодействия этих связей. Попытки выхода из рамок диадной схемы существуют ([1], с. 186-189), но в достаточно общую теорию они еще не выросли. Данная работа посвящена развитию политомических моделей в системологии.

I. От диад к триадам и дальше

Недостаточность дихотомии. В процессе систематизации, как при объединении, так и при расщеплении материала, элементарным актом является сопоставление сравнимых объектов. Число объектов в отдельном акте может быть различным. Расщепление на две части, т.е. дихотомия, выглядит проще, чем трихотомия и вообще политомия. Последовательное деление пополам оказывается предпочтительным и с информационной точки зрения. Поэтому часто проявляется тенденция сводить дело

к совокупности дихотомических операций. Но всегда ли правомерен этот диадный редукционизм?

Дихотомии в систематике соответствует антитетика в диалектике. Диалектические противоречия изучаются обычно тоже в форме бинарных оппозиций (антитез): количество-качество, необходимость-случайность, дискретность-непрерывность и т. д. И хотя реальные противоречия многосторонни, в качестве элементарных почти всегда рассматриваются двусторонние [2].

Пытаясь выйти за рамки диадной схемы, прежде всего отметим, что для фиксированного объекта часто возможны несколько оппозиций. Например, теорию можно сопоставлять с практикой, а можно и с экспериментом; понятию формы могут противостоять сущность, содержание, процесс, функция [3]. А. А. Любищев не раз анализировал различные типы отрицания, образуемые с помощью приставок: контра-, анти-, ультра-, пара-, эли-[4]. Таким образом, диалектика, вообще говоря, многомерна, и каждая независимая антитеза выделяет свою линию сравнения как координатную ось в пространстве мышления.

Многомерный подход, позволяя строить более полные, более естественные системы, значительно расширяет возможности исследования. Показательно, что в ряде научных журналов, несмотря на экономию места, систематические указатели сейчас стали делать многомерными. Так, в *Chemical Physics* система трехмерная: методы, объекты, явления. Фактически рассматриваются проекции, и если статья проецируется весомо на каждую ось, она повторяется трижды. Конечно, стремление к охвату все большего числа граней может сделать систему излишне громоздкой. Эта тенденция уравнивается путем комплексирования многомерных критериев [5], противостоящей дивергентной многомерности и обеспечивающей устойчивость, диалектичность системному методу.

Диады, антитезы, бинарные оппозиции можно рассматривать как одномерные сечения многомерной системы. Но полностью ли описывается система, если перебраны все характерные антитезы? Оказывается, нет. По отдельным сечениям полна кар-

тина однозначно, вообще говоря, не восстанавливается, даже когда охвачены все критерии. Покажем это на простом математическом примере. Рассмотрим функцию двух переменных

$f(x, y)$. Пусть известно ее поведение в сечениях $x=1$ и $y=1$, а именно: скажем, $f(1, y) = y$, $f(x, 1) = x$. Легко видеть, что этим условиям удовлетворяет много функций:

$f(x, y) = xy$, $f(x, y) = 2xy - x - y + 1$ и др. Однако, если предположить, что $f(x, y) = g_1(x)g_2(y)$, то знание f в сечениях $x = const.$ и $y = const.$ достаточно для нахождения всей функции. Это дополнительное предположение о факторизации есть гипотеза об отсутствии корреляций между сечениями. Оно означает, что поведение объекта в каждой оппозиции не зависит от ситуации в других оппозициях. Следовательно, суть проблемы - в корреляциях.

Этот пример достаточно ясно показывает ограниченность метода парных оппозиций. Одновременно он подсказывает возможный путь обобщения антитетики. Первым шагом на этом пути должно быть исследование тройных взаимодействий, или трихотомии.

Типы триад. Будем различать вырожденные, переходные и системные триады. Комплексы, третий элемент которых находится на той же оси, что и два первых, являются вырожденными. Например, единица - десяток - сотня, прошлое - настоящее - будущее, конвергенция - параллелизм - дивергенция и т.п. Такие триады не содержат существенно нового по сравнению с диадами. Переходными триадами будем называть комплексы, в которых два элемента порождают третий, принадлежащий более высокому уровню организации. Сюда относятся, конечно, трехчленные категории Канта и гегелевские триады типа "тезис-антитезис-синтез". Переходные триады можно рассматривать и сверху, расщепляя один элемент на два более простых. При этом становится ясным, что такие триады вполне укладываются в дихотомическую структуру.

Для системологии принципиальное значение имеют комплексы, единство которых создается тремя элементами одного

уровня. Такие триады можно называть одноуровневыми, паритетными, целостными, системными. Если переходные триады в пространстве объектов мыслятся вертикально, то системные - горизонтально. В многомерной ситуации эти образы, конечно, весьма условны, но полезны, так как подчеркивают потенциальное равноправие элементов триады, необходимое для устойчивости такого комплекса.

Диада высвечивает в пространстве мышления ось, триада (невырожденная) - плоскость. Двумерное сечение богаче одномерного, но с ростом размерности возрастает и архитектурные трудности. Если генезис диады тривиально антитетичен (добро-зло, анализ-синтез, причина-следствие), то в плоскости триады одновременно существуют три парных отношения, смещенные относительно общего центра. Для понимания генезиса триады нужно сначала освободиться от рутины диадного мышления, выйти из рамок одномерной схемы двух противоположностей. На плоскости имеются две степени свободы и, кроме радиальных, есть круговые отношения. Поэтому формула генезиса должна быть двумерной. Расщепляя объект на три части, нужно видеть не только радиальные, но и круговые движения; дополняя объект до триады, нужно не упускать из виду отношения между включенными элементами. Связь триад с двумерными структурами изучается в работах структуралистов [5].

Формальный подход не исчерпывает проблемы типологии, ибо не все мыслимые формы одинаково наполняются содержанием. В мире диад выживают лишь пары с достаточно интенсивным взаимодействием. Жизненность триады обеспечивается наличием корреляций, удерживающих тройной комплекс от распада на независимые пары. Реальное значение триадного формализма зависит от того, существуют ли достаточно общие устойчивые типы целостных триад.

Формула триадного мышления. В поисках общих закономерностей трихотомии обратимся к целостным триадам, сложившимся в истории человеческой культуры. Выпишем несколько популярных образцов, сохраняя пока линейную форму, хотя для адекватного изображения паритетных триад требуются двумерные модели. Итак: добро - истина - красота, дух - разум - чувства, вера-

надежда - любовь, совесть - ум - честь, свобода - равенство - братство. Элементы триад упорядочены здесь таким образом, что нетрудно разглядеть в них сходные черты. Первые элементы характеризуют духовную, интуитивную сторону триады, вторые - рациональную, третьи - чувственную, эмоциональную. Можно полагать, что эта закономерность связана со свойствами нашего мышления, которое способно оперировать и размытыми символами, и четкими понятиями, и художественными образами одновременно. В литературе, посвященной исследованию процесса творчества [7,8], встречается немало интересных соображений о многогранности познания, принадлежащих таким выдающимся мыслителям, как А. Пуанкаре, А. Эйнштейн, Н. Винер и др.

Тот факт, что в веках отстоялись целостные триады именно такого типа, заставляет серьезно отнестись к гипотезе о равновесии, равноправии интуитивной, рациональной и эмоциональной сторон мышления. Оформляя в этом плане обнаруженное свойство общности, рискнем предложить следующую модель системной триады:



Сама модель построена в форме двойной триады, чтобы полнее выразить оттенки соответствия. Первый (верхний) элемент воплощает суть объекта, показывает, что он собой представляет, дает возможность заглянуть вглубь. Второй (левый) элемент раскрывает смысл объекта, демонстрирует, чем он важен, зачем нужен, характеризует вширь. Третий (правый) элемент передает облик, образ объекта, изображает, как он выглядит, проявляется, действует; заставляет посмотреть на него ввысь.

Испытывая в сравнении роль каждого элемента, эта формула помогает раскрывать их парные отношения и корреляционные связи. При встрече с новой триадой она способствует выяснению места отдельных элементов, так как интуитивная, рациональная и эмоциональная стороны не всегда разделяются просто. Многие устойчивые триады, возникшие в различных культурах мира, приведены в работе [9]. Однако следует отметить, что наша формула не всегда приводит к однозначному решению. Трудности возрастают с уменьшением вклада мышления в образование триады. Например, триада основных цветов "синий - желтый - красный", на первый взгляд, не обнаруживает явной корреляции с тремя сторонами мышления.

О тетрадах и т.д. Как и триады, тетрады бывают вырожденными, переходными и системными. Простой пример вырожденной тетрады дают любые четыре цвета. Вырожденность тетрад может быть либо однократной - когда элементы оказываются в одной плоскости, либо двукратной - когда все элементы попадают на одну ось. Переходной тетрадой будем называть невырожденный комплекс, в котором три элемента одного уровня порождают четвертый, принадлежащий другому уровню. Всякая целостная триада переходит в тетраду, как только появляются признаки целостности, ведущие к синтезируемой вершине.

Чтобы лучше понять этапы генезиса переходной тетрады, рассмотрим два новых примера из области математики. Привычно, что точность и простота встречаются как понятия противоположные, т.е. образуют антитезу: стремясь к простоте, мы жертвуем точностью; добиваясь точности, не ждем простоты. Но если ограничиться исследованием не всего объекта, а только некоторой его части сколь угодно малых размеров, то это противоречие можно разрешить. Синтез простоты и точности на основе локализации составляет суть асимптотического метода [10]. Далее, антитезой точности может быть и правильность, ибо существуют границы разумной точности. Синтез точности и правильности осуществляет математическая статистика, опираясь на концепцию вероятностного распределения. В системной экологии аналогичной триадой является совокуп-

ность требований к моделям: реалистичность, точность и общность [11, с.360].

В обоих примерах внимание акцентировалось на том, что синтез достигается с помощью третьего элемента. На пути к синтезу диада сначала становится целостной триадой. Эта закономерность обнаруживается всюду и претендует на универсальность. В разрешении любого бинарного противоречия участвует третий фактор: агент, посредник, параметр, - расположенный на дополнительной оси в пространстве мышления. Скажем, противоречие между притяжением и отталкиванием в физике благополучно снимается с помощью расстояния. Гегелевские переходные триады тоже оказываются тетрадами, если учесть фактор развития; Гегель фактически исследовал класс диахронных тетрад. Складывается впечатление, что переходные триады неустойчивы и потому нуждаются в дополнительной опоре, фиксирующей направленность синтезирования. Правда, выбор плоскости оставляет возможными все-таки два направления, и оба они могут быть реализованы [9].

Системная тетрада образуется четырьмя независимыми равноправными элементами. Геометрический образ одноуровневости здесь не помогает, так как наша интуиция ограничена трехмерным пространством: Эта трудность, по-видимому, является причиной того, что системные тетрады исследованы сравнительно мало.

Формально нетрудно ввести пентады и последующие фигуры политомии. При этом все-таки полезно связывать их с геометрическими образами соответствующих многомерных пространств. Диада мыслится отрезком оси, триада - треугольником на плоскости, тетрада - тетраэдром в пространстве. Каждый раз это простейший структурный объект (симплекс) в пространстве, размерность которого на единицу меньше числа элементов. Иными словами, целостная n -ада есть квант $n-1$ -мерного мышления. Преобладание триад и тетрад в мировых культурах [9], по-видимому, связано с тем, что двумерные и трехмерные модели мышления совмещают в себе цельность, адекватность и образность.

2. Ценность триад

Второе измерение диалектики. Ограничиваясь бинарным отношением, мы остаемся в мире одномерных актов мышления. Зажатая в тиски двух противоположностей, диадная мысль часто мечется безысходно. Еще Гете заметил, что между двумя противоположными мнениями находится не истина, а проблема. Образ двумерного мышления связан скорее с вращательным, чем с радиальным движением: мысль крутится на плоскости около точки притяжения, подбирая синонимы, которые становятся элементами триады. Можно также сказать, что триада замыкает угол, расходящийся от анти-тезы, и тем самым снимает оппозицию. Введение второго измерения во многих случаях открывает простой выход из затруднений, не разрешимых при одномерном подходе. Для математиков прекрасной иллюстрацией служит метод перевала, когда выход в комплексную плоскость дает возможность изысканным путем получить асимптотику широкого класса интегралов.

Замыкание системных триад. Предложенная выше модель системной триады содержит субстанциальную, аналитическую и качественную компоненты. Представление о структуре целостной триады позволяет дополнять многие диады до более гармоничных комплексов, находя недостающие элементы. Например, легко видеть, что в антитезе "сущность-явление" не хватает рационального элемента, скажем, "структуры". В дилемме "единство-множество" отсутствует феноменальный фактор, роль которого могло бы играть "отношение". Диада "преступление-наказание" замыкается в области духа, допустим, через "раскаяние". Очевидно, можно различать три типа синтеза, в соответствии с тем, через какую компоненту происходит замыкание. Этот алгоритм открывает иногда неожиданные и очень любопытные вещи. Например, разделяя литературу на научную и художественную, обычно говорят об информационном и эстетическом эффектах чтения. Но если добавить интуитивную компоненту восприятия, то вырисовывается и утверждается в должных правах третий тип чтения - ассоциативное. Действи-

тельно, книги, да и не только их, следует ценить по рождению ассоциациям не меньше, чем по количеству информации и силе радости.

Трихотомия. Расщепление объекта на системную триаду описывает его значительно глубже, полнее, гибче, чем антитетика. По этому принципу построены многие удачные определения. Само понятие системы определяется обычно через триаду "целостность-структурность-взаимодействие". Математику часто характеризуют совокупностью трех структур: порядка, алгебраической и топологической. Механизм процесса эволюции обычно расщепляют на "наследственность-изменчивость-отбор". В искусстве трихотомия встречается, пожалуй, чаще, чем в науке. Фольклор просто изобилует триадами: три героя, три попытки и т. д. [9].

Дополнение с повышением уровня. Если вся триада тяготеет к одной из сторон мышления, появляется желание уравновесить ее подходящими комплексами, т.е. замкнуть в системную триаду более высокого уровня. Возьмем, например, триаду "добро-истина-красота". В ней явно доминирует онтологический мотив. Рациональное отношение к сущности может состоять в ее изучении. Эту функцию выполняют соответственно "этика-наука-эстетика". Остается построить замыкающую эмоциональную триаду. Если взять поведенческий аспект чувственного отношения к идеалу и познанию, то в этическом плане поведение определяется моралью, в эстетическом — стилем, а в качестве их научного аналога напрашивается то, что за последнее десятилетие энергично вторглось в интеллектуальную жизнь под именем парадигмы [12]. Связывая последний комплекс с понятием культуры, приходим к следующей триаде триад, превратившихся в переходные тетрады:



Эта двухэтажная конструкция обладает привлекательными свойствами. Интересно, например, что соответственные углы снова образуют двойную триаду: добро-этика-мораль, истина-наука-парадигма, красота-эстетика-стиль. Здание оказывается богаче совокупности своих частей: целостность содержательна.

Аналогии и проекции. Сходные свойства объединяют объекты в триаду, а сходство положений открывает новые свойства. В этом чередовании аналогий и гомологий происходит творческая отдача триадного мышления. Интересные следствия вытекают, например, из объединения морали, парадигмы и стиля в системную триаду культуры. Опираясь на аналогию между художественным стилем и научной парадигмой, Ю.А.Шрейдер [13] сделал прогноз о направленности надвигающейся смены парадигмы: от классицизма - к барокко. Одновременно возникает вопрос о том, сохранится ли принятое сейчас членение наук в будущей парадигме.

Аналогия между парадигмой и стилем, должно быть, тоже чревата интересными плодами. Вообще изучение культуры как гуманитарной проекции фундаментальной триады онтологического идеала по-новому ставит вопрос о судьбах мировой культуры. То, что нравственные проблемы плохо вписываются в сегодняшнее представление о науке, что в ней нет места категориям "хорошо-плохо" или "добро-зло" [13], очевидно требует преодоления на системной основе.

Плодотворность фундаментальной триады проявляется и в других ее проекциях. Рассматривая, например, условия реализации "добра-истины-красоты", приходим к триаде "доверие-гласность-достоинство". Доверие необходимо для устойчивости, надежности; безгласная истина - нонсенс; достоинство - та красота души, которая звучит в словах Н.И.Тургенева "Чувство чистой совести достаточно для смерти, чувство нравственного достоинства необходимо для жизни", сказанных полтора века назад. Проектирование можно рассматривать как форму генезиса. Скажем, триада "ноты-слова-краски" появляется как материальная проекция триады "музыкант-поэт-художник". Дефиниции полезно рассматривать в свете данного выше

триадного определения системы, выделяя и объединяя аналогии целостности, структурности и взаимодействия.

Тяга к целостности. Общность триадного мышления проявляется в том, что системные закономерности, обнаруженные на одной триаде, распространяются на другие. Одно из важнейших свойств подметил художник К.С.Петров-Водкин, исследуя триаду основных цветов:



Он заинтересовался тем, что "у цвета имеется свойство не выбиваться из трехцветия, дающего в сумме белый цвет, т.е. свет. Благодаря этому свойству сложный -двойной - цвет вызывает по соседству не хватающий ему для образования трехцветия дополнительный [14, с.492]. В качестве примеров он называет зеленый луч заката, синюю ночь у костра, красную дорожку на лугу. Это стихийное стремление к гармонии целого через мираж дополнения является очень любопытным свойством человеческой психики. Не по той ли закономерности мы в истине хотим видеть добро и красоту, в любви обретаем надежду и веру, в озарении чувствуем отблеск радости и пользы? И не в этой ли фантомизации кроются естественные корни редукционизма?

3. Триада ценности

Гегемония пользы. Трихотомия понятия ценности представляет интерес не только как демонстрация плодотворности триадного подхода. Сама проблема ценности в настоящее время достаточно остра и действительно нуждается в системном анализе. Дело в том, что хотя аксиология - наука о ценности - трактует свой предмет шире, чем полезность, практически очень часто не видят различия между этими понятиями. Клеймо

беспольности обычно воспринимается как полностью обесценивающее. Монополия критерия пользы опасна тем, что она создает атмосферу утилитаризма, которая является питательной средой мещанства, ибо мещанство в широком смысле — это потребительское отношение ко всем ценностям: материальным, культурным, духовным. Утилитарный редукционизм, вероятно, существовал всегда, и в периоды угнетающего расцвета он вызывал отчаянные протесты со стороны передовых мыслителей. Так, в 1890 г. Л. Больцман со свойственным ему темпераментом восклицал: "Пусть замолкнет этот обычный вопрос, бросаемый навстречу всякому абстрактному стремлению: какая, собственно, в этом польза?" [15, с. 56].

Парадоксальность нынешней ситуации состоит в том, что образовались ножницы между теоретическим пониманием несводимости ценности к пользе и практическим пониманием ценности как пользы. Открещиваясь от утилитаризма теоретически [16], аксиология практически снова впадает в него, когда пасует перед критерием практики, толкуемым обычно утилитарно. Например: в расхожей фразе "нет ничего более практичного, чем хорошая теория" похвала воздается теории за практическую конечную выгоду без признания какой-либо иной ценности.

Таким образом, если выделить три ступени, три уровня ценностного отношения: 1) непосредственно утилитарный; 2) прагматический, или опосредованно утилитарный [17]; 3) системный, не редуцируемый к утилитарному, — то приходится признать, что практическая аксиология прочно застряла на втором уровне. Для большей убедительности рассмотрим подробнее ценностную ситуацию в науке.

Практицизм в науке. Наука дала столько ценных плодов, что завоевала право на относительную самостоятельность. Умные практики соглашались с тем, что "теория, несмотря на ее интеллектуальную миссию, является максимально практической вещью, некоторым образом квинтэссенцией практики [15, с. 56]. Однако до признания самоценности теории дело обычно не доходит. Практицизм, а он всегда узкий, глубоко проник в науковедение и существенно обедняет его. Многие люди смотрят на науку исключительно через призму технологических ценнос-

тей. При этом даже в рамках утилитарного подхода используются не все возможности, ибо обычно имеется в виду лишь материальная польза. Но ведь наряду с материальными существуют также духовные и культурные потребности. Пренебрежение ими ведет ко многим бедам бездуховности и бескультурья, в частности связанным с проблемой досуга. Ясно, что становясь массовой, наука достойно решает эту проблему для значительного количества людей. Но гораздо важнее воспитательная функция науки в создании надлежащего отношения общественного мнения к духовным и культурным ценностям.

Представление о служебной миссии науки вместе с допущением ограниченной самостоятельности породило деление наук на прикладные и фундаментальные. Первые должны приносить пользу непосредственно, вторые - через саморазвитие. Точнее было бы говорить не о различных науках, а о различных функциях единой науки. Но суть дела не в этом. Больше вреда несет неудачный термин "прикладные". Он страдает односторонностью, недиалектичностью, в нем нет указания на обратную связь. Как любой жизнеспособный организм, наука имеет свои внутренние закономерности. Кроме того, она постоянно взаимодействует со всем остальным миром, именно взаимодействует, а не просто "прикладывается". Следовательно, речь должна идти скорее о внешних и внутренних функциях науки, чем о прикладных и фундаментальных.

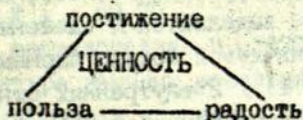
Аналогичное положение сложилось в методологии. Методы создаются, изучаются, развиваются исключительно для того, чтобы решать задачи. У методов, как у рабов, нет иной роли, кроме служебной. Поэтому разрастаются больше те методы, которые сразу идут на потребу решения практических задач. Стсюда проистекает, например, нынешний приоритет численных методов над аналитическими.

Урок экологии. Экологический кризис вызывает естественную тревогу, но одновременно рождает и оптимизм, так как заставляет думать и действовать. На наших глазах воинствующий практицизм потерпел здесь потрясающий крах, и даже инертное общественное мнение быстро усвоило, что теперь надо не покорять, а охранять природу. Но с какой целью охра-

нять? Лишь затем, чтобы эффективнее использовать? Постановка подобных вопросов ведет от попыток расширенного понимания пользы к пониманию ограниченности этого критерия. Любопытно, что образное представление о новом уровне экологической культуры выводит на ту же триаду "мораль-парадигма-стиль", что и наш рациональный подход. Однако это совпадение не так уж удивительно, если учесть, что можно говорить и о природе человека, которая не исчерпывается стремлением к выгоде и страдает от воинствующего утилитаризма, расхищается им. Рожденные в биосфере, экологические проблемы вряд ли могут быть решены без выхода в ноосферу [18].

Трихотомия ценности. Приступая к расщеплению понятия ценности на системную триаду, можно сразу же констатировать, что польза составляет лишь рациональный аспект ценности. Как определить два других элемента? Согласимся с А.В.Гулыгой [8] в том, что в мире ценностей радость способна конкурировать с критерием пользы. Это подтверждается и осмысленностью взаимных конструкций типа "бесполезная радость" и "безрадостная польза". В духовном плане роль ценности может играть ... п о с т и ж е н и е, которое для лучшей определенности целесообразно представить триадой "откровение-понимание-прозрение". Аналогично другим компонентам ценности постижение подразумевается двусторонним, как взаимопроникание субъекта и объекта. Хочется и понять мир, и быть понятым, причем независимо от пользы и радости.

Таким образом, триада ценности предстает в виде



Завершая вторичное расщепление, радость можно представить как "благоговение-наслаждение-восхищение", а пользу — как "удача-успех-удовольствие". Конечно, здесь меньше убедительности, однозначности. Другие предпочтут видеть в пользе, например, "интерес - выгоду - удобство". Чем тоньше

структура, тем больше сказывается субъективный фильтр осмысления понятий. Но это естественная граница точности. При дополнении категории ценности до более крупных триад она может играть различную роль в зависимости от других элементов.

Критериальность практики. Остановимся в заключение на вопросе о критериальности практики при определении ценностей. Обычно практика выступает в роли окончательного критерия истины, находясь в бинарной оппозиции с теорией. Когда же истина рассматривается как рациональный элемент триады, то что считать критериями добра и красоты? Прежде всего, не следует понимать практику в узко рациональном смысле. Наша культурная и духовная деятельность тоже составляет практику жизни. В театр и филармонию мы ходим не для того, чтобы на следующий день произвести больше материальных ценностей.

Различая внутренние и внешние отношения объекта, будем понимать практику в широком смысле как совокупность внешних отношений. Так как ценность проявляется через отношения, то практика, несомненно, — критерий ценности. Но не единственный, ибо структурный объект имеет еще внутренние отношения. Взаимодействие с миром переходит во внутреннюю жизнь там, где этот объект составляет часть мира. Так, искусство, отражающее реальность, само по себе тоже есть реальность. Через внутренние отношения проявляется самоценность.

В какой мере практика играет роль решающего критерия? Сделаем чисто рациональную оценку. Пусть рассматриваемый объект содержит n структурных элементов, а в окружающем мире в том же масштабе выделяются N элементов. Вообще говоря, $N \gg n$. Если ограничиться только парными связями, то всегда имеется $n(n-1)/2$ внутренних отношений и nN внешних, так что доля внутренних отношений является малой величиной порядка $\varepsilon = n/N$. Включение кратких связей не меняет этой оценки. Следовательно, главную роль играют отношения внешние, т.е. практика. Однако не следует забывать, что члены порядка ε существуют и ими нельзя пренебрегать, по крайней мере, в трех случаях: 1) когда объект очень боль-

шой ($\varepsilon \sim I$); 2) при увеличении точности исследований; 3) в масштабе мира внутренних отношений. Кроме того, доля внутренних отношений возрастает, если дальние связи затруднительны. Таким образом, между самоценностью и практической ценностью нет абсолютного разрыва.

Список литературы

1. Пеннел Р. Методы системного анализа окружающей среды. - М., 1979.
2. Гаврюшин Н.К. Антитетика в концептуальных системах. - В кн.: Системные исследования. Ежегодник 1976. М., 1977, с. 239-248.
3. Любичев А.А. Редукционизм и развитие морфологии и систематики. - Ж. общей биологии, 1977, 38, №2, с. 245-263.
4. Любичев А.А. Дарвинизм и недарвинизм. - Природа, 1973, № 10, с. 44-47.
5. Любичев А.А. Проблемы систематики. - В кн.: Проблемы эволюции, Новосибирск, 1968, I, с. 7-29.
6. Иванов В.В. Клод Леви-Стросс и структурная антропология. - Природа, 1978, № 1, с. 77-89.
7. Адамар Ж. Исследование психологии процесса изобретения в области математики. - М., 1970.
8. Гулыга А.В. Эстетика научного открытия. - Природа, 1975, № 7, с. 56-62.
9. Сыркин А.Я., Топоров В.Н. О триаде и тетраде. - В кн.: Летняя школа по вторичным моделирующим системам, 3-я, Тарту, 1968, с. 109-119.
10. Баранцев Р.Г. Об асимптотологии. - Вестн. Ленинг. ун-та, 1976, № 1, с. 69-77.
11. Философская энциклопедия. - М., 1970, т. 5.
12. Кун Т. Структура научных революций. - М., 1977.
13. Шрейдер Ю.А. Наука и человек. - Химия и жизнь, 1978, №2, с. 3-10.
14. Петров-Водкин К.С. Хлыновск. Пространство Эвклида. Самаркандия. - Л., 1970.
15. Больцман Л. О значении теории. - В кн.: Статьи и речи. М., 1970.

16. Нарский И.С. Ценность и полезность. - Научные доклады высшей школы. Философские науки, 1969, № 3, с. 58-67.
17. Джемс В. Прагматизм. - СПб, 1910.
18. Вернадский В.И., Размышления натуралиста. Книга 2-ая. Научная мысль как планетное явление. - М., 1977.

Н. А. Козырев
Пулковская астрономическая
обсерватория АН СССР (Ленинград)

ВРЕМЯ КАК ФИЗИЧЕСКОЕ ЯВЛЕНИЕ

В современной системе научных знаний развиваются как реляционные, так и субстанционные представления о времени. Автор статьи излагает разрабатываемую им субстанционную концепцию времени (Примечание редактора).

Любая физическая система, и в частности вещество, с течением времени теряет свою первоначальную организованность, разрушается и стареет. В соответствии со вторым началом термодинамики происходит переход в более вероятное состояние. Это обстоятельство обусловлено свойствами причинности, согласно которым причина порождает многочисленные следствия и поэтому в общей совокупности событий получается, как писал Ньютон: "Природа проста и не роскошествует излишними причинами". Рост числа разнообразных следствий приводит к реализации все большего числа возможных состояний систем. Происходит потеря организованности, внесенной в систему некоторой причиной. Течение же этого процесса должно совпадать с направленностью времени, поскольку следствия находятся в будущем по отношению к причине. Если время дополняет трехмерное пространство до четырехмерного многообразия, то течение времени настоящим моментом лишь обнаруживает события уже существующие в будущем, при сохранении всего, что отодвигается в прошлое. В таком четырехмерном мире все, что должно быть в соответствии с законами Природы, уже существует реально, подобно тому, как в трехмерном пространстве выход с том, что нечто должно быть в заданном месте, означает, что оно и есть там на самом деле. Поэтому все события в четырехмерном мире должны уже существовать в соответствии со вторым началом термодинамики и

выглядеть веером, расходящимся в сторону будущего, т.е. положительного направления оси времени. Однако такая картина фатального детерминизма противоречит свободе выбора и всему опыту нашей жизни. Скорее всего это означает, что чисто геометрическое представление о времени является недопустимо упрощенным. Действительно, для выводов специальной теории относительности необходимо считать, что ось времени

$i\mathcal{C}t$ Мира Минковского равноценна трем пространственным координатным осям. Пространство же может обладать не только геометрическими свойствами, т.е. быть пустым, но у него могут быть и физические свойства, которые мы называем силовыми полями. Поэтому совершенно естественно полагать, что и ось собственного времени $i\mathcal{C}t$ не всегда является пустой и что у времени могут быть и физические свойства. Благодаря этим свойствам время может воздействовать на физические системы, на вещество и становиться активным участником Мироздания. Это представление о времени, как о явлении Природы, соответствует и нашему интуитивному восприятию Мира. Активный контакт времени со всем, что происходит в Мире, должен приводить к взаимодействию, к возможности воздействий на свойства времени со стороны происходящих процессов. Но тогда для определения будущего необходима фактическая реализация всех предшествующих моментов. Без этого будет существовать неопределенность будущего, в отличие от Мира с пустым, не взаимодействующим временем, который можно заранее построить. Поэтому активные свойства времени могут освобождать Мир от жесткого детерминизма Лапласа.

Степень активности времени может быть названа его плотностью. Уже из самых общих соображений можно заключить, что существование плотности времени должно вносить в систему организованность, т.е. вопреки обычному ходу развития, уменьшать ее энтропию. Действительно, когда весь Мир перемещается по оси времени от настоящего к будущему, само это будущее, если оно физически реально, будет идти ему навстречу и будет, стягивая многие следствия к одной причине, создавать в системе тенденцию уменьшения ее энтропии. Таким обра-

зом, время, благодаря своим физическим свойствам, может вносить в Мир жизненное начало, препятствовать наступлению его тепловой смерти и обеспечивать существующую в нем гармонию жизни и смерти.

Итак, изменение состояния и свойств вещества может происходить не только со временем, но и под действием времени на него. Первое обстоятельство соответствует законам, действующим в пассивном геометрическом времени, а второе - обусловлено активными, физическими его свойствами. Из-за взаимодействий с происходящими в Природе процессами должны меняться активные свойства времени, а это, в свою очередь, будет влиять на ход процессов и на свойства вещества. Таким образом, вещество может быть детектором, обнаруживающим изменения плотности времени. В пространстве плотность времени не равномерна, а зависит от места, где происходят процессы. Следует ожидать, что некоторые процессы ослабляют плотность времени и его поглощают, другие же наоборот - увеличивают его плотность и, следовательно, излучают время. Термины "излучение" и "поглощение" оправданы характером передачи воздействий на вещество - детектор. Так, действие повышенной плотности времени ослабляется по закону обратных квадратов расстояния, экранируется твердым веществом при толщине порядка сантиметров, и отражается зеркалом согласно обычному закону оптики. Уменьшение же плотности времени около соответствующего процесса вызывается втягиванием туда времени из окружающего мира. Действие этого явления на детектор экранируется, но не отражается зеркалом. Специальный опыт показал, что процессы, вызывающие рост энтропии, излучают время. При этом у находящегося вблизи вещества упорядочивается его структура. Надо полагать, что потерянная из-за идущего процесса организованность системы уносится временем. Это означает, что время несет информацию о событиях, которая может быть передана другой системе. Получается почти прямое доказательство сделанного выше вывода о том, что действие плотности времени уменьшает энтропию и противодействует обычному ходу событий.

Под действием времени могут изменяться самые разнообраз-

ные свойства вещества. Однако для исследований активных свойств времени и сущности его действий на вещества, следует, конечно, остановиться на тех свойствах вещества, изменения которых могут быть зарегистрированы легко и точно. В этом смысле большое преимущество имеют измерения проводимости электрического тока резистора, введенного в мост Уитстона и находящегося вблизи некоторого выбранного процесса. Например, для увеличения плотности времени можно осуществить процесс испарения летучей жидкости, а для поглощения времени — процесс охлаждения разогретого тела. Изменение сопротивления проводника из-за этих процессов действительно происходит с противоположными знаками. У проводника с положительным температурным коэффициентом увеличение плотности времени ведет к уменьшению его сопротивлений, как это и должно быть при повышении организованности структуры. При отрицательном температурном коэффициенте эффект получается противоположного знака и опять в сторону изменений, происходящих с падением температуры. Такое соответствие падению температуры должно наблюдаться и при изменении других свойств вещества, поскольку с понижением температуры уменьшается беспорядок в его структуре. У резистора, находящегося рядом с обычным лабораторным процессом, таким, как испарение ацетона на вате, растворение сахара в воде и т.п., наблюдалось относительное изменение сопротивления в шестом или пятом знаке или даже в четвертом в случае резистора с особо высоким температурным коэффициентом.

Возможность отражать зеркалом действие времени позволила нам наблюдать влияние не только лабораторных процессов, но и посредством телескопа-рефлектора и изменение сопротивления резистора из-за процессов, происходящих в космических телах. Появилась возможность изучать Вселенную не только, как обычно, посредством спектро-электромагнитных колебаний, но и особым, ранее испытанным методом, через посредство физических свойств времени. Вместе с В.В.Насоловым такие наблюдения были проведены нами на рефлекторах Крымской Астрофизической обсерватории [1]. Излучение времени, по его дейст-

вию на резистор, наблюдалось от планет, звезд, галактик и других космических объектов. Была показана мгновенность передачи этих воздействий и существование Мира Минковского, как реальности, а не как математической схемы [2].

При исследованиях влияния времени на электропроводность резистора в качестве стандартного процесса, контролирующего чувствительность системы, применялось испарение ацетона на расстоянии 10-15 см от изучаемого резистора. Однако процесс испарения может оказать влияние на резистор не только повышением плотности времени, но и самым тривиальным образом, благодаря повышению температуры, происходящему при испарении. Чтобы учесть этот эффект охлаждения, была сделана попытка прямых измерений температуры в окрестностях испаряющегося ацетона посредством ртутного термометра Бекмана с ценой деления шкалы в $0^{\circ},01$. Первые опыты, без тепловой защиты, показали падение температуры на несколько сотых градуса, достаточное, чтобы вызвать почти все наблюдавшееся изменение электропроводности резистора. Однако, и при теплоизоляции резистора термометр продолжал показывать практически то же падение температуры. Это удивительное на первый взгляд обстоятельство показало, что термометр реагировал не на изменение температуры, а на излучение времени при испарении ацетона, которое, внося организацию, вызывало сжатие ртути. Дальнейшие опыты, проведенные с большой осторожностью, подтвердили это заключение. Картонная трубка, в которую входила часть термометра с резервуаром ртути, была окружена ватой и опущена в стеклянную колбу. Пробный процесс осуществлялся вблизи колбы, а отсчет высоты ртути в капилляре определялся по температурной шкале из другой комнаты, через закрытое окно. Высота ртути уменьшалась при растворении сахара в воде устоявшейся температуры и увеличивалась, когда вблизи термометра помещалась сжатая заранее пружина. Можно считать, что в первом процессе действительно излучалось время, а во втором случае оно поглощалось перестройкой вещества пружины при ее деформации. Результаты этих опытов показаны на рис. I, из

которого видно, что после окончания процессов происходит очень замедленное возвращение ртути к ее начальному состоянию. Пользуясь значением коэффициента объемного расширения ртути, температурную шкалу рисунка легко преобразовать в шкалу относительного сжатия из расчета, что $0,01$ соответствует $1,8 \cdot 10^{-6}$ этой шкалы. Замечательно, что относительные изменения объема и плотности ртути оказались того же порядка, что и относительные изменения электропроводности резисторов из обычного металла.

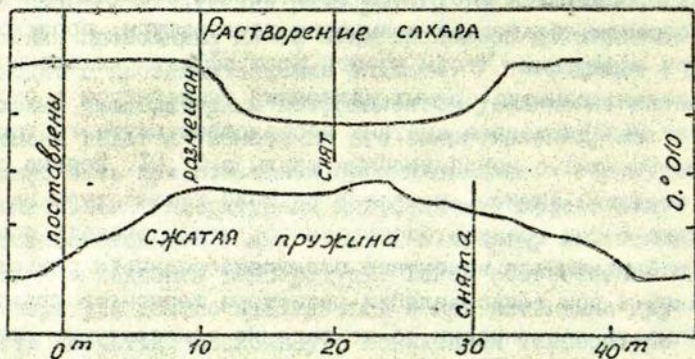


Рис. I. Изменения показаний термометра Бекмана при растворении сахара и в присутствии сжатой пружины.

Термометр Бекмана должен реагировать и на астрономические явления, хотя, конечно, нет никакой возможности применить его в башне телескопа. Однако можно надеяться, что в закрытом помещении с постоянной температурой удастся заметить его реакцию на такие близкие к Земле и интенсивные явления, как, например, лунное затмение. Во время затмения поверхность Луны за короткое время — порядка сотни минут — охлаждается от $+100^{\circ}$ до -120° и вновь разогревается до прежней температуры. Первый процесс сопровождается поглощением времени, которое в первую очередь будет втягиваться в него из того, что есть вблизи на Луне. Поэтому на Земле этот процесс не должен оказывать заметного действия. Второй же процесс разогрева поверхности сопро-

возбуждается излучением времени, которое может быть зарегистрировано на Земле системой достаточной чувствительности. Во время частного, но с большой фазой ($\Phi=0,86$) лунного затмения с 13 на 14 марта 1979 года такие наблюдения были проведены с помощью термометра Бекмана и механического прибора, представляющего собой диск из плотной бумаги, подвешенный на тонкой кварцевой нити. При испарении ацетона над точкой подвеса получался поворот диска на несколько градусов. Отражение зеркалом этого же процесса приводило к повороту диска в противоположную сторону. Ясного понижения действия этого прибора не удалось достигнуть. По-видимому, поворот диска вызывается парой сил, которую несет и передает время. Вероятно это одна из тех возможностей, благодаря которым время вносит организованность в структуру вещества.

Во время затмения диск и термометр находились в достаточно стабильных условиях полуподвального помещения. Отсчеты поворота диска и показаний термометра производились через пять, десять минут. В верхней части рисунка 2 приведены углы положения марки, нанесенной на диск, а внизу — отсчеты термометра, исправленные за все-таки существующий их небольшой дрейф. Построенные графики показывают, что изменение отсчетов появилось действительно только после наибольшей фазы, когда началось разогревание участков лунной поверхности, освобожденных от земной тени. Второе изменение хода показаний получилось при выходе Луны из полутени, когда на лунной поверхности стало восстанавливаться нормальное солнечное освещение. Уменьшение высоты ртуть в капилляре термометра и поворот диска в сторону, соответствующую действию испарения ацетона, показывают, что при разогреве лунной поверхности в действительности происходило излучение времени.

В результате исследований, проведенных с термометром Бекмана, приходится заключить, что ртутный термометр принципиально не может быть прибором для точного измерения температуры. Надежным для таких измерений должен быть газовой термометр, поскольку газ не имеет структуры, которая

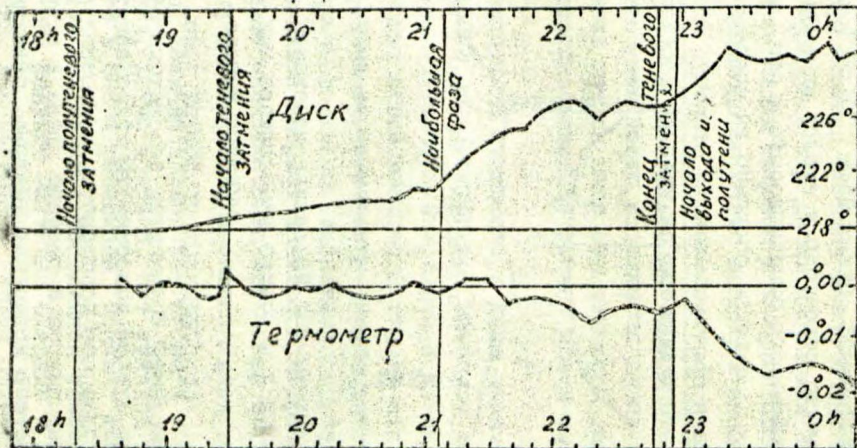


Рис.2. Частное лунное затмение с 13 на 14 марта 1979 года.
 Вверху: кривая поворота диска. Внизу: изменение показаний
 термометра Бекмана. Время всемирное.

могла бы перестроиться под воздействием плотности времени. Поэтому газ поглотить время не может, что и было подтверждено возможностью астрономических наблюдений через толщу земной атмосферы.

Следует ожидать, что во время лунных затмений будут изменяться и другие свойства вещества, например, его электропроводность. Если резисторы моста имеют одинаковые свойства, то изменение плотности времени скажется на них одинаковым образом и равновесие моста не нарушится. Чтобы обнаружить это изменение, резисторы моста должны сильно различаться по свойствам, но с такой системой трудно работать из-за реакции ее на все происходящие вокруг процессы. Поэтому лучше всего наблюдения проводить с однородным мостом, но посредством телескопа-рефлектора, проецирующего на выделенный рабочий резистор затмеваемый участок лунной поверхности. Такие наблюдения были нами проведены телескопом МТМ-500 Крымской Астрофизической обсерватории во время лунного затмения 13 мая 1976 года. Это затмение было совсем малой фазы ($\Phi=0,13$), и тень земли закрывала Луну только к югу от кратера Тихо. Предполагалось наблюдать область Луны вблизи центрального меридиана, посередине между кратером Тихо и южным краем Луны. Чтобы исключить рефракцию, пришлось проектировать на рабочий резистор другую область Луны, сдвинутую на $2'$ к югу, у самого края Луны. Результаты этих наблюдений показаны на рис. 3. Наступление тени на выбранную область не дало заметных изменений в показаниях гальванометра в системе моста. Но при выходе ее из тени отсчеты сразу стали возрастать в сторону, соответствующую излучению времени, т.е. уменьшению сопротивления резистора с положительным температурным коэффициентом. Однако через некоторое время они стали убывать из-за того, что трубка, в которой был заключен резистор, оказалась оббитой, и на него проецировалась другая, не затемненная область Луны. После восстановления прежнего положения трубки отсчеты быстро возрастали, а потом стали медленно убывать в соответствии с уменьшением скорости разогрева этой части лунной поверхности.

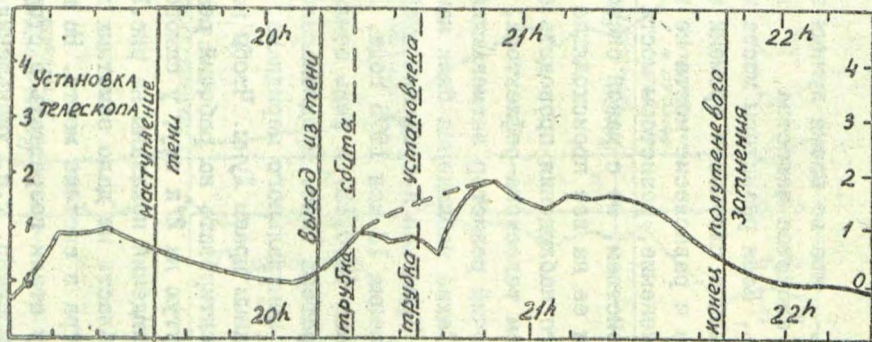


Рис. 3. Лунное затмение 13 мая 1976 года. Кривая изменений электропроводности резистора, на который проецировалась область Луны к югу от кратера Тихо. По оси ординат отложены отсчеты гальванометра (1 дел. = $2 \cdot 10^{-9}$ А). Время всемирное.

Увеличение плотности времени, которое происходит во второй половине лунного затмения, можно в слабой степени наблюдать и вблизи терминатора при нарастающей фазе Луны. Далекие же тела солнечной системы мы наблюдаем практически только в полной фазе - в направлении солнечных лучей. Поэтому при любом вращении тела оно всегда будет повернуто к нам стороной, разогреваемой Солнцем. Этим объясняется показавшееся сначала удивительным то обстоятельство, что даже совсем малые, заведомо не активные астрономические объекты, излучают время. На 50-дюймовом рефлекторе Крымской обсерватории наблюдалось действие на резистор не только от спутников больших планет, но даже от кольца Сатурна, из-за разогрева обращенной к нам стороны составляющих его метеоритных тел.

Излучение времени, наблюдающееся от многих звезд, несомненно, вызвано внутренними процессами, происходящими на этих телах. Поэтому надо полагать, что Солнце с его бурными процессами, помимо электромагнитной энергии, излучает еще и время. Действительно, перекрыв солнечный свет далеко отстоящим тонким экраном, можно убедиться, что и в этом случае Солнце оказывает значительное влияние на резистор или другой детектор. Поэтому во время солнечных затмений, когда Луна экранирует Солнце, должна наблюдаться некоторая потеря организованности вещества, внесенная в него действием Солнца. В частности, должен уменьшаться коэффициент упругости подвеса крутильного маятника. Вероятно, этим объясняется наблюдавшееся Сакселем и Алленом удлинение периода колебаний такого маятника во время полного солнечного затмения 1970 года [3]. Относительное удлинение периода получилось у них в четвертом знаке. Во время солнечного затмения 1976 года эти наблюдения были повторены московскими метрологами (В.Казачок, О.Хаврошкин и В.Циплаков), получившими тот же результат [4]. Наши наблюдения над поведением рычажных весов в вибрационном режиме тоже показали уменьшение плотности времени во время пяти частных затмений Солнца: 1961, 66, 71, 75 и 76 годов [5]. Казалось, что такие явления должны происходить и тогда

да, когда выпуклость Земли экранирует Солнце, т.е. на его закате и восходе. Однако они, как показывают наблюдения, перекрываются действием на плотность времени со стороны метеорологических и других геофизических процессов, сопутствующих постепенному ослаблению и исчезновению радиации Солнца. Остается только, безусловно существующий, суточный ход изменения свойств вещества детектора и пораздения приборов.

Становится несомненным, что Солнце воздействует на Землю не только лучистой энергией, но и исходящим от него усилением физических свойств времени. Это воздействие Солнца через время должно иметь особенное значение в жизни организмов и всей биосферы, поскольку оно несет начало, поддерживающее жизнь. Существование этих возможностей, идущих от Солнца, может объяснить в гелиобиофизике явления, казавшиеся непонятными.

Совокупность проведенных исследований показывает, что состояние вещества зависит не только от воздействия близких процессов, но и от изменения общего фона плотности времени, которое происходит от широкого круга геофизических процессов и многих космических явлений. Влияние геофизических факторов должно приводить к сезонному и суточному ходу изменений состояния вещества. Дрейф приборов, показывающих суточные изменения, обычно останавливается около полуночи, а затем меняет свое направление. В сезонном же ходе происходит уменьшение плотности времени весной и летом и ее увеличение - осенью и зимой. Скорее всего это связано с поглощением времени жизнедеятельностью растений и отдачей его при их увядании. Указанные обстоятельства наблюдались многими авторами в самых разнообразных исследованиях. Интересно, например, сообщение А. Шаловалова, биолога из Днепропетровска, о его трехлетних наблюдениях темного тока фотоумножителя [6]. Начиная с конца мая и до осени темновой ток возрастал почти на два порядка, что указывает на ослабление препятствий для вылета электронов и, следовательно, на ослабление организованности вещества фотока-

тогда. Имеются многочисленные указания и на сезонные изменения хода химических процессов. Так, например, реакция полимеризации весной осуществляется труднее, чем осенью и зимой. Такие изменения должны наблюдаться и в состоянии вещества. Весьма возможно, что наблюдения В. Жвирблиса над изменениями углов минимального и максимального пропускания света скрещенными призмами Николя [7] могут быть объяснены перестройкой кристаллической структуры этих призм. Связь этих и других подобных явлений с действием времени легко установить, осуществляя вблизи системы какой-нибудь необратимый процесс, например испарение летучей жидкости, повышающий плотность времени. Именно этим путем нам удалось показать, что наблюдавшиеся изменения в поведении механических систем — рычажных весов и маятника в вибрационном режиме — вызывалось действием происходящих в природе процессов, изменяющих общий фон плотности времени [5].

Результаты опытов показывают, что организующее начало, которое вносит активное свойства времени, оказывает на системы влияние очень малое в сравнении с обычным разрушающим ходом их развития. Поэтому не удивительно, что это жизненное начало было пропущено в системе наших научных знаний. Но будучи малым, оно в природе рассеяно всюду и поэтому необходима только возможность его накопления, подобная той, при которой малые капли воды, падающие на обширные области, поддерживают непрерывное течение могучих речных потоков. Такая возможность осуществляется в организмах, поскольку вся жизнедеятельность противодействует обычному ходу разрушения систем. Способность организмов сохранять и накапливать это противодействие, вероятно, и определяет великую роль биосферы в жизни Земли. Но даже допустив, что жизнь распространена в Космосе — как одно из присущих ему свойств, она и тогда не смогла бы иметь решающего значения. Таким собирающим жизненное начало резервуаром могут быть космические тела и, в первую очередь, звезды. Огромные запасы энергии в звездах вытекают из них лишь в очень слабой степени через излучение сравнительно

холодных наружных слоев. Энергия внутри звезд сохраняется настолько хорошо, что при отсутствии пополнения вещество Солнца остывало бы всего на одну треть градуса в год. Эту малую потерю может компенсировать действие времени, которое там накапливается и, будучи преобразованным в лучистую энергию, может стать мощным потоком жизненных возможностей Мира. Для Земли же это творческое начало, которое несет время, приходит потоком лучистой энергии Солнца. Глубокий смысл приобретают слова Платона в "Тимее": "Эти звезды назначены участвовать в устройении времени". Но к этому надо добавить, что и время участвует в устройении звезд.

Список литературы

1. Козырев Н.А., Насонов В.В. Новый метод определения тригономических параллаксов на основе измерения разности между истинным и видимым положением звезды. - Проблемы исследования Вселенной, 1978, 7, с. 168-179.
2. Козырев Н.А. Астрономическое доказательство реальности четырехмерной геометрии Минковского. - Проблемы исследования Вселенной, 1982, 9, с. 85-93.
3. Saxel E.J., Allen M.A. 1970 Solar Eclipse as "Seen" by a Torsion Pendulum. - Physical Review D, 1971, vol. 3, N. 4, p. 823-825.
4. Казачок В.С., Хаврошкин О.В., Циплаков В.В. Поведение атомного и механического осциллятора во время Солнечного затмения. - Астрономический циркуляр, 1977, 943, февр. 21, с. 4-6.
5. Козырев Н.А. Астрономические наблюдения посредством физических свойств времени. - Вспыхивающие звезды. Ереван, 1977, с. 210-226.
6. Шайовалов А. Краткое сообщение. - Техника молодежи, 1978, 6
7. Жвирблис В. Что нарушает симметрию? - Химия и жизнь, 1977, №12, с. 42-52.

А.М.Мауринь
ЛГУ им. П.Стучки (Рига)

ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ ОНТОГЕНЕТИЧЕСКОЙ ШКАЛЫ БИОЛОГИЧЕСКОГО ВРЕМЕНИ

Умирают - в пространстве.
Живут - во времени
А.Вознесенский

Биологические объекты и процессы имеют свое характерное время существования, им присуща определенная ритмика и квазипериодичность в функционировании, временная организация [1]. В процессе поисков закономерностей временной организации живого возникла проблема специфического биологического времени [2]. Представление о специфичности временных свойств биологических систем опирается на реляционное понимание времени [3]. Как отмечает В.П.Казарян [4], основанием, позволяющим вводить понятие биологического времени, является факт неравномерного распределения биологических событий в течение одинаковых интервалов физического времени. Такие последовательные интервалы физического (планетарного) времени неравноценны для биологической системы как в количественном, так и качественном отношении. Плотность биологических событий в них различна; одни из этих интервалов ближе к отмиранию системы, другие - к моменту ее возникновения и расцвета.

Специфика неравномерности распределения биологических событий в течение последовательных, равных между собой интервалов физического времени определяется в основном особенностями уровня структурной организации данной биологической системы. Обсуждая эту проблему, К.Х.Уоддингтон отметил, что "биология существенно связана с тремя шкалами времени, отвечающими обмену веществ, развитию фенотипа и эволюции ..." [5:177]. "Множественность временных шкал, - пи-

сал по этому поводу Г.Патти, - несомненно, представляет собой важнейший аспект жизни. Физика обычно использует только одну временную шкалу (если не считать некоторых областей нелинейной термодинамики). Я хотел бы только заметить, что для описания всей биологии трех временных шкал может оказаться недостаточно. Например, существует физическое время (в уравнениях движения), каталитическое время (необходимое для описания ферментативных реакций), время клеточного деления, время индивидуального развития, время генерации, время экологической сукцессии и, наконец, эволюционное время. Может быть, следует добавить еще психологическое время, или время сознания" [5:177-178].

Онтогенетическая шкала биологического времени отвечает развитию фенотипа, или индивидуальному развитию организма. Проблема связи и различия биологического и физического времени в онтогенезе растений была поставлена около пятидесяти лет тому назад советским биологом Н.П.Кренке [6]. Он четко различал календарный возраст и возрастность особи. Календарный возраст - это прожитые особью сутки, месяцы, годы. Возрастность - "реальная жизнеспособность индивидуума и его частей в рассматриваемый момент". Возрастность организма отсчитывается по его собственным "часам", по биологическому времени. На основе своих теоретических представлений о возрастности Н.П.Кренке разработал способы прогнозирования скороплодности и скороспелости растений. Он разработал также удобные способы ранней диагностики ожидаемой реакции растений на различные агротехнические мероприятия (удобрение, орошение и др.), предложил способы предвидения будущих качественных характеристик семян (ожидаемых кормовых качеств шелковицы, качества листьев чайного куста).

Конечно, в неявном виде биологическое время присутствует в любой концепции онтогенеза. Фазы, стадии, этапы, периоды онтогенеза, по существу, являются единицами специфического времени организма. Но Н.П.Кренке впервые стал изучать это специфическое время - возрастность - организмов. Он убедительно показал, что многие явления в жизни растений, рассматриваемые по календарным датам, не обнаруживают определенных

закономерностей. Но при изучении тех же явлений на фоне возрастности они предстают исследователю закономерно упорядоченными.

Известны два концептуально-методических подхода к формализации биологического времени. Первый из них основан на представлении о биологическом времени как мере скоростей и ускорений жизненных процессов. Сторонники второго подхода выводят специфическое биологическое время из ритмики функционирования живых систем [7, 8]. Такой взгляд разделяет большинство исследователей биоритмов, часто сводя проблему специфического времени биосистем к так называемым "биологическим часам" [9]. Х. Нидермюллер [8], считая биологические циклы мерой специфического времени биосистем, предлагает для его аппроксимации у микроорганизмов следующую формулу (I)

$$t_B = a \cdot \log_2 (N/N_0), \quad (I)$$

где t_B - время биосистемы (колонии микроорганизмов);

a - продолжительность одного цикла;

N - численность микроорганизмов в момент времени t ;

N_0 - численность микроорганизмов в момент времени t_0 .

В ботанических работах специфическое время иногда выражают в пластохронах. Пластохрон в широком смысле - это интервал времени между двумя последовательными сходными явлениями, происходящими в серии сходных периодически повторяющихся процессов [10]. Например, интервал времени между началом двух последовательных стадий переκлиального деления в местах возникновения примордиев, началом их апикального роста или заложением листовой пластинки. По отношению к растению в целом этот термин применяется для выражения биологического возраста. Например, если за эталон принята длина развивающегося листа 10 мм, то по достижении n -ым листом растения длины 10 мм биологический возраст этого растения будет n пластохронов.

Выражение биологического времени через характеристики

ритмов более перспективно для временных шкал обмена веществ, клеточного деления и, в какой-то мере, жизни популяции. Однако более адекватной задачам онтогенетических исследований оказалась формализация, основанная на представлении о биологическом времени как мере специфического ускорения жизненных процессов. Обсуждая возможности конструктивного подхода к проблеме времени в биологии, К.Х. Уоддингтон писал: "Вместо энергии или даже скорости (которая безразмерна, если пространство и время эквиваленты) мы должны иметь какой-то аналог ускорения. Вместо информации-алгоритм" [5:177]. Такой аналог ускорения - прирост биомассы организмов использовал Г. Бакман [11] для разработки первого удачного конструктивного подхода к формализации биологического времени по онтогенетической шкале. Обзор работы Г. Бакмана и выведенных им формул приведен в предыдущем сборнике "Моделирование и прогнозирование в экологии" [12]. Здесь приведем лишь основную формулу биологического (по Г. Бакману : органического) времени организма (2);

$$X = c_1 \log t + c_2, \quad (2)$$

где X - мера биологического времени;

t - физическое (планетарное) время;

c_1, c_2 - константы;

$$c_1 = -\frac{2\kappa_2}{2\sqrt{-\kappa_2} \log e}, \quad (3)$$

$$c_2 = -\frac{1 + \kappa_1}{2\sqrt{-\kappa_2} \log e}. \quad (4)$$

Параметры κ_1 и κ_2 вычисляются по формуле (5)

$$\log h = \kappa_0 + \kappa_1 \log t + \kappa_2 \log^2 t, \quad (5)$$

где h - прирост биомассы (или других параметров организмов).

Как основную единицу биологического времени организма Г. Бакман выделяет "квант жизни" $\Delta X = \sqrt{\frac{n}{2}} - \sqrt{\frac{n-1}{2}}$. Или

$\Delta x^2 = \frac{n}{2} - \frac{n-1}{2} = \frac{1}{2}$. Он считает, что значения $\Delta x^2 = \frac{0}{2}; \frac{1}{2} \dots \frac{n}{2}$ имеют особо важную биологическую сущность, утверждая, что x^2 организма в данный момент отражает число уже пережитых и еще предстоящих пережить "квантов жизни". Воспользовавшись опубликованными данными С.С.Андреевко и Ф.М.Куперман [13] по росту и развитию кукурузы 'Краснодарский гибрид I-49', мы произвели соответствующие расчеты по функции Бакмана (2). Результаты расчетов показали, что начальные этапы органогенеза, по соответствующему им биологическому времени, неравнозначны последующим. Так, II этап органогенеза вмещает три "кванта жизни", а III и IV этапы - примерно по одному; на V и VI этапы вместе приходится лишь один "квант жизни". Для I этапа органогенеза биологическое время не вычислялось, так как на него приходится 2-й цикл (примордиальный) роста по Бакману, частично перекрывающийся с I-м (овулярным) и 3-м (основного роста) циклами. По имеющимся в нашем распоряжении данным корректно разделить эти циклы не представлялось возможным, поэтому все расчеты велись лишь для цикла основного роста.

А.А.Уранов считал, что разработанную под его научным руководством шкалу возрастных состояний растений "можно рассматривать как особую форму учета онтогенетического времени" [14:22]. Приравняв количество энергии, воспринятое растением в течение всей его жизни, единице, он выражает возрастность особи долей энергии, которая освоена к середине данного возрастного состояния. Приравняв единице количество энергии, воспринятое растением в течение всего онтогенеза, и выразив возрастные состояния в баллах (0-10), А.А.Уранов вывел функцию (6) возрастности растения в зависимости от этапа его возрастного состояния в онтогенезе:

$$m = \frac{1}{1 + e^{(6-t)}} \quad (6)$$

где m - возрастность особи;

t - этап возрастного состояния, в баллах.

Идея А.А.Уранова о возрастности растений и концептуаль-

ный подход к ее изучению созвучны представлениям Н.П.Кренке и Г.Бакмана. Интересно отметить, что гипотеза А.А.Уранова об удлинении среднего времени пребывания особи в каждом последующем возрастном состоянии от проростков до зрелых генеративных особей соответствует правилу Г.Бакмана об акселерации физического времени в ходе онтогенеза. Определенный интерес представляет сопоставление данных о возрастных состояниях и возрастности по А.А.Уранову с соответствующими этим этапам интервалами биологического времени, вычисленными нами по функции Бакмана для сосны обыкновенной (табл. I).

Таблица I.

Возрастные состояния и биологическое время в онтогенезе *Pinus sylvestris* L.

Возрастные состояния	Индекс балл	Возраст- ность особей (m_i)	Интервалы био- логического времени (III цикл)
Проростки (всходы)	P/I	0,0067	I-II и начало III цикла роста
Ювенильные растения	$j/2$	0,0180	$-(\sqrt{7/2} - \sqrt{4/2})$
Имматурные растения	$i_m/3$	0,0474	$-(\sqrt{4/2} - \sqrt{2/2})$
Виргинальные (молодые вегетативные) растения	$v/4$	0,1192	$-(\sqrt{2/2} - \sqrt{1/2})$
Молодые (ранне-) генеративные растения	$g_1/5$	0,2700	$-(\sqrt{1/2} - \sqrt{0/2})$
Средневозрастные (зрелые) генеративные растения	$g_2/6$	0,5000	$(\sqrt{1/2} - \sqrt{0/2})$
Старые (поздне-) генеративные растения	$g_3/7$	0,7310	$(\sqrt{2/2} - \sqrt{1/2})$
Субсенильные (старые вегетативные) растения	$ss/8$	0,8808	$(\sqrt{3/2} - \sqrt{2/2})$
Сенильные растения	$s/9$	0,9529	$(\sqrt{4/2} - \sqrt{3/2})$

Примечание. Индексы возрастных состояний во второй графе уточнены по [15]. Поскольку биологическое время (по функ-

ции Бакмана) в начале онтогенеза имеет отрицательные значения, интервалы его ("кванты жизни") в последней графе таблицы для P, j, im, n, g , также отрицательны. Количественные значения интервалов биологического времени округлены до $\sqrt{1/2}$.

При сравнительном изучении различных популяций древесных видов (*Pinus sylvestris*, *Picea abies*, *Larix kaempferi*) в Латвийской ССР выяснились как межпопуляционные, так и индивидуальные различия деревьев по тренду их биологического времени. Как уже отмечалось нами ранее [12], более устойчивые к отрицательным антропогенным факторам деревья отличались по ходу своего биологического времени от менее устойчивых еще до начала существенного воздействия этих факторов. Следовательно, тренд биологического времени уже в начальные периоды онтогенеза отражает экологическую диспозицию (предрасположение) растений.

Концептуально-методологический подход к изучению биологических систем, основанный на представлениях о специфическом времени этих систем, имеет большое общенаучное значение. Дело в том, что в биологии и экологии возникает все больше вероятностно-количественных задач, выходящих за пределы возможностей частотной интерпретации. Многие из таких задач требуют корректной оценки вероятности отдельного события, поведения отдельной особи в той или иной ожидаемой ситуации. В методологическом плане подобные трудности преодолевает диспозиционная интерпретация вероятности [16]. Однако применение диспозиционного подхода к оценке вероятности в биоэкологических системах затрудняется отсутствием конструктивно-методических разработок. Исследование свойств специфических времен и разработка их шкал представляется одним из возможных путей построения методологии и методики диспозиционной интерпретации вероятности ожидаемых состояний или поведения прогнозируемых биологических и экологических систем.

Список литературы

1. Теоретические и прикладные аспекты анализа временной организации биосистем.-М.,1976.
2. Вернадский В.И. Размышления натуралиста. Пространство и время в неживой и живой природе.-М.,1975.
3. Молчанов Ю.Б. Четыре концепции времени в философии и физике.- М.,1977.
4. Казарян Э.П. Понятие времени в структуре научного знания.-М.,1980.
5. На пути к теоретической биологии. I. Прологомены: Перев. с англ. - М.,1970.
6. Кренке Н.П. Теория циклического старения и омоложения растений. - М.,1940.
7. Фактор времени в функциональной организации деятельности живых систем: Сборник научных трудов /Под ред. Н.И.Моисеевой.- Л.,1980.
8. Niedermüller H. Zeit und Rhythmus in Biologie und Medizin,- Naturwissenschaftliche Rundschau.1980,33, №11, S.458-465.
9. Winfree A.T. The Geometry of Biological Time.-Berlin-Heidelberg - New-York,1979.
10. Эсау К. Анатомия растений:Перевод с англ.-М.,1969.
11. Backman G. Wachstum und organische Zeit.-Leipzig,1943.
12. Мауринь А.М. Проблема биологического времени и функция Бакмана.- В кн.:Моделирование и прогнозирование в экологии:Межвузовский сборник научных трудов. Рига,1980,с.3-22.
13. Андрееенко С.С.,Куперман Ф.М. Физиология кукурузы (очерки по физиологии развития, роста, фотосинтеза, минерального питания и водного режима).-М.,1959.
14. Уранов А.А. Возрастной спектр фитоценопопуляции как функция времени и энергетических волновых процессов.- Научные Доклады Высшей Школы. Биологические науки,1975,№ 2,с.7-34.

15. Диагнозы и ключи возрастных состояний луговых растений, ч. I. Однодольные. Злаки. - М., 1980.
16. Giere R. N. A laplacean formal semantics for single-case propensities. - Journal of philosophical logic. Dordrecht, 1976, 5, N 3, p. 321-353.

Е. В. Краснов
Дальневосточный геологический институт ДВНЦ АН СССР
(Владивосток)

О МОДЕЛИРОВАНИИ ВРЕМЕНИ В ГЕОЛОГИИ И ПАЛЕОНТОЛОГИИ

Вводные замечания

Проблему времени не случайно считают центральной в научном прогнозировании [1, 2]. Эпохальные открытия в физике XX века, кибернетике (системно-структурный подход) — все это не могло не оказать воздействия на теоретизацию знания даже в таких традиционно описательных науках, как биология, геология и палеонтология. Геологу, ранжирующему процессы развития земной коры с помощью палеонтологических "часов" (относительная геохронологическая шкала), далеко не безразлично, когда действительно происходил исследуемый им глобальный, региональный или локальный процесс (от дифференциации геосфер, континентальных и океанических структур в литосфере до образования горных пород, руд и минералов). Установление повторяемости сходных событий в различные времена и в различных местах для геолога равносильно биологическому доказательству закономерностей на генетической основе.

Наиболее распространенный способ подразделения эволюционных событий в истории органического мира заключается в построении моделей филогенеза ("древ"), учитывающих темпы, последовательность и длительность морфофункциональных перестроек фенотипов. Однако о правомерности таких "древ" спорят уже не один десяток лет, и скепсис в отношении истинности "конкретных генезов" хорошо известен. Так, из одного издания в другое кочует такая фраза: "Разделение генотипической и паратипической составляющих общей фенотипической

изменчивости имеет принципиальное значение для изучения темпов эволюции, но при изучении палеонтологического материала это пожелание обычно носит платонический характер" [3, с.224].

Другой путь - "абсолютная" геохронология, изотопное датирование событий прошлого по соотношениям элементов - основан на представлении о постоянстве периодов полураспада урана, тория и других радиоактивных элементов. Но за миллиарды лет скорость радиоактивных превращений могла измениться. Кроме того, в результате метаморфизма и других вторичных изменений в горных породах и минералах получаемые датировки могут свидетельствовать лишь о времени последнего изменения химического состава образца, а не о моменте его образования. Наконец, продолжительность суток, месяцев и лет, принятая нами для современности, вероятно не оставалась постоянной в ходе эволюции Земли. Рассмотрим последнее обстоятельство несколько подробнее с помощью данных о динамике величин приростов скелетного вещества древнейших морских организмов.

Время в процессах роста

Исследования динамики формирования наружной стенки кораллов самого разного геологического возраста выявили, что девонские виды фавозитид откладывали в год от 385 до 410, каменноугольные ругозы - 385-390, а современные склерактинии - около 360 "дневных" (точнее их называть суточными) колец роста [4]. Это дает основание вводить в геохронологию поправки, связанные с замедлением скорости вращения Земли вокруг Солнца, возможно, вызванное увеличением размеров нашей планеты.

Строматолиты и микрофитолиты - еще более древние карбонатные постройки, обнаруживающие ритмичное чередование известывыделяющей деятельности синезеленых водорослей и бактерий начиная с докембрия (не менее трех миллиардов лет назад). По регистрирующим структурам строматолитов устанавли-

ливаются суточные, годовые и многолетние (включая II-летние) палеобиосферные ритмы, в которых продолжительность года составляла уже более 600 суток.

Для позднего кембрия по кольцам роста моллюсков показана 32-суточная продолжительность месяца, а девонский месяц в среднем продолжался 30,6 суток. Все это подтверждает возможность моделирования направленного хода палеобиологического времени с древнейших до новейших геологических времен. По отношению к Земле реконструируемое время окажется астрономическим, внешнеотсчетным, в то время как физическое время мы назовем внутритотсчетным.

Структурные, графические и математические модели пространственно-временных взаимодействий в палеоэкосистемах имеют явные преимущества перед методами "абсолютного" датирования геологических событий. Достоверность моделирования процессов роста не зависит от диагенетических преобразований и степени метаморфизма исследуемого вещества. Его главным ограничением является лишь то, что число дней в астрономическом году меняется со скоростью один день за 10 миллионов лет. В отличие от шкал "абсолютного" физического времени, палеобиологические шкалы дают возможность ввести в сферу релятивистской теории параметр скорости движений живой системы в пространстве-времени.

Обнаруживаемое с помощью графических моделей роста скелетных структур замедление годовой и месячной периодичности метаболизма в ходе эволюции нельзя не поставить в связь с сокращением продолжительности циклов развития земной коры. Согласование классических относительных и "абсолютных" шкал палеобиологического времени с неклассическими внешнеотсчетными шкалами — насущная задача моделирования в эволюционной экологии.

Количество энергии, получаемое Землей из Космоса, определяется ее вращением вокруг своей оси и Солнца. Эта энергия, в свою очередь, влияет на состояние атмосферы и климата, определяя их направленность изменений в процессах дыхания и питания. Переход к абстрактным характеристикам направления, скорости, силы и энергии процессов функционирования живых

систем представляется в связи с этим одним из наиболее перспективных путей моделирования в биологии. Процессы взаимоотношений организмов и среды, запечатленные в их регистрирующих структурах (скелетных частях), оказываются включенными в ритм эволюции Земли. В этом направлении - плодотворное поле для графического палеонтологического моделирования. В скелетных частях древних организмов (от бактерий и водорослей до позвоночных) заключена разнообразная структурная информация о взаимодействиях между организмами и факторами внешней и внутренней среды. Извлекая эту информацию в виде некоторых параметров, мы можем судить не только о последовательной смене отношений организм-среда и длительности событий, но и коррелировать события, одновременно совершавшиеся в различных местах земной поверхности.

Сравнив, к примеру, графические модели роста скелетных образований и обнаружив значительное перекрытие кривых у сравниваемых образцов, мы вправе заключить, что они происходят из одной популяции. Если кривые оканчиваются у разных образцов в одной точке, это свидетельствует об одновременном прекращении роста в результате воздействия какого-то фактора (засыпание осадками, резкое изменение температурных условий обитания, солености водных масс и т.д.). Отсутствие корреляции между кривыми будет указывать на то, что анализируемое сообщество не было популяцией [5]. Использование структурной информации представляется весьма существенным для создания палеоэкологических моделей.

Изучение древесных остатков, основанное на подробных измерениях величины колец роста ископаемых деревьев, привело к становлению дендрохронологии - метода датирования взаимодействий организмов и среды и оценки климатических изменений в кайнозое. Хотя связь между шириной колец роста деревьев и природными условиями, контролирующими этот процесс, очень сложна, все же динамика образования древесных колец дает достаточно достоверные сведения о климатических и гидрологических условиях четвертичного периода [6].

Периодичность роста скелетных частей одновременно проявлялась у различных групп донных беспозвоночных, населявших

палеозойские моря в районе Прибалтики - табулят, гелиоли-
тид, ругоз, мшанок и строматопороидей [7], что, несомненно,
указывает на связь этого явления с сезонными изменениями
палеоусловий окружавшей их среды. Судя по ритмике роста та-
булят, субтропические формы развивались здесь в условиях
довольно значительных сезонных изменений климата, а тропи-
ческие - в почти неизменно теплом климате. Распространение
древних кораллов с различным характером роста опирается на
модель "полярносмещенного экватора".

Биогеохимия и время

В.И.Вернадский впервые поднял вопрос о проявлении геоло-
гического времени в конкретных геохимических и биогеохими-
ческих процессах. Полярность времени в них выражается в том,
что эти процессы необратимы. Ход времени в системе "орга-
низм-среда" неизбежно выражается вектором [8]. Сопоставление
кривых солнечной инсоляции и изменения $\delta^{18}O$ в раковинном
кальците планктонных фораминифер экваториальной Атлантики
за последние 300 тысяч лет иллюстрирует возможности примене-
ния биогеохимических моделей для оценки пространственно-вре-
менных взаимодействий в палеонтологии. Весьма показательны
корреляция кривых соотношений тепло- и холодолюбивых ассо-
циаций фораминифер, моллюсков и палеотемпературных изменений,
рассчитанных по $\delta^{18}O$ в их раковинном кальците [9]. Парал-
лелизм изменения экологических группировок моллюсков и тем-
пературы роста их раковин также не вызывает сомнений. На
основе палеобиогеохимических данных нами [4] сделана попытка
восстановить временной ход изменения сообществ моллюсков и
условий их обитания в позднем кайнозое для Северной Атланти-
ки. В плиоцен-плейстоценовых бассейнах у берегов Исландии не-
сколько раз сменяли друг друга во времени малакофауны, принад-
лежавшие разным биогеографическим типам: как бореальному,
бореальному и северобореальному. Анализ комплексов раковин
моллюсков и распространения ледниковых отложений в исланд-
ском разрезе позволили установить постепенное похолодание

в этом районе в плиоцене - эоплейстоцене. Методом изотопно-кислородной термометрии исследован изотопный состав кислорода раковин моллюсков плио-плейстоцена и современных моллюсков, обитающих в сублиторали у исландских берегов. Изотопные результаты вполне согласуются с палеобиогеографическими характеристиками. Наиболее древний горизонт морских отложений в разрезе Тьернес включает раковины моллюсков южнобореального типа, температуры роста которых, рассчитанные по соотношению изотопов кислорода, наиболее высокие (8,3-10,6°C). Второй горизонт содержит раковины моллюсков бореального типа (температуры роста 7,2-8,0°C). Для третьего горизонта с раковинами северобореальных по происхождению моллюсков определены наиболее суровые температурные условия (3,6 - 6,7°C).

Сопряженное палеоэкологическое моделирование динамики изотопных температур роста, инверсии и напряженности геомагнитного поля Земли, доминантов фауны и флоры, позволяет устанавливать глобальные переломные моменты взаимодействия организмов и среды в геологической истории. Конечно, корреляция между инсоляцией, инверсиями магнитного поля и изотопными индикаторами хода геологического времени не приводит нас к автоматическому признанию причинно-следственных связей между столь разнородными явлениями. Такого рода связи могут быть установлены только после выяснения механизмов действия факторов. На данной стадии изученности важно подчеркнуть новые возможности определения длительности и последовательности событий в конкретных объект-процессах с помощью изотопных и других биогеохимических характеристик скелетного вещества организмов.

В динамике атомных отношений, характеризующих биогеохимические процессы, также прослеживается направленность и цикличность. К примеру, Ca/Mg и Ca/Sr-индексы скелетного вещества рифовых кораллов обнаруживают циклически необратимую направленность изменений от ордовика-силура до наших дней. В атомных отношениях уловима необратимость адаптивных перестроек биогеоценозов, следовательно, возможно получить новые критерии для временного ранжирования биосферных собы-

тий. Однако при любых попытках использования изотопных и атомных отношений в палеонтологическом моделировании следует учитывать не только генетически детерминированные различия, но и степень вторичных преобразований некогда живого вещества.

Некоторые из рассмотренных экспериментальных способов выявления структурной биогеохимической информации о взаимодействиях биосистем с глобальными факторами среды уже сегодня могут считаться валидными для оценки пространственно-временных отношений в конкретных объект-процессах биологической истории нашей планеты. Специализация организмов наиболее полно проявляется при анализе онтогенетической динамики биогеохимических индикаторов в оптимальном диапазоне условий роста. Сохранение инвариантности взаимодействий во времени дает основание предвидеть в недалеком будущем прогресс релятивистской палеонтологии в решении проблемы вида.

Необратимый и вместе с тем циклический процесс изменения интегральных биогеохимических параметров эволюции биосферы подтверждается изменениями соотношений Ca/Mg и Ca/Sr в карбонатах биогенного происхождения. Отношение Ca/Mg , циклически изменяясь, в целом увеличилось в скелетном веществе кораллов с ордовика до позднего мела - палеогена, а затем стало уменьшаться; динамика отношения Ca/Sr совершенно противоположная [4]. Несмотря на "всплески" в девоне-карбоне и пермо-триасе, отчетлива тенденция к уменьшению Ca/Sr . Почти синхронные изменения Ca/Mg и Ca/Sr в карбонатных породах докембрия и фанерозоя на территориях Европейской части СССР и США коррелируют с динамикой интенсивности вулканизма, содержанием CO_2 в атмосфере и глобальными событиями биологической эволюции - появлением скелетных организмов в кембрии, массовым развитием в конце мелового периода "звестывыделяющих коккслитофорид, планктонных фораминифер и радиолярий. Эти корреляции не только указывают на революции в биосфере, но и открывают путь к оценке пределов устойчивости биосистем во времени.

Видовая специфичность колебаний изотопного и химического состава скелетных частей выражается одновременными вариационными кривыми, со свойственными каждому виду значениями параметров [11]. Сравнивая биогеохимические инварианты в смене времен, можно с большей уверенностью устанавливать синхронность или гетехронность становления биосистем. Наиболее надежный способ - сравнительное изучение онтогенезов и возрастной структуры современных и ископаемых представителей одних и тех же и систематически близких групп. Актуалистические модели накопления современными организмами химических элементов, их стабильных изотопов, изменений аминокислотного состава их белков и других компонентов в связи с температурными, соленостными, седиментационными, гидродинамическими и другими условиями обитания, также приобретают первостепенное значение в палеонтологическом моделировании.

В решении проблемы перехода от субъективного к объективному изучению эволюции особенно важно развертывание идеи инварианта. Н.Ф.Овчинников [12] показал, что абсолютен не тот или иной способ сохранения черт фенотипа, а абсолютен сам принцип сохранения фенотипом присущих ему черт. Ни одна область природы не может не содержать устойчивых, сохраняющихся веществ, свойств или отношений и, соответственно, ни одна теория не может быть создана без сопоставления определенных сохраняющихся величин. На примере биогеохимических инвариантов было показано, что они не постулированы априорно, а есть следствие опыта. Поэтому их установление - эффективнейший эвристический прием, позволяющий выявить структурную информацию об экологических взаимодействиях палеонтологических объект-процессов на языке математических отношений. Принцип инвариантности - пример единства абсолютного и относительного, неизменности и изменчивости преобразований в биосистемах самого разного масштаба и уровня.

Симметрия и время

Известно, что в морфологии организмов господствуют кривые линии и поверхности как первичные проявления их симметрии [8]. В то же время с момента открытия Луи Пастера биологов не перестает удивлять преобладание левизны живого вещества. У растений и животных все белки и составляющие их аминокислоты обладают левым вращением плоскости поляризованного света. Все кристаллические соединения, входящие в состав живых клеток, — алкалоиды, глюкозы, сахара — также левые.

Вектор времени в биологическом пространстве, как отмечал В.И.Вернадский, не может быть только полярным, он должен быть и энантиоморфным. Отражение этого свойства вектора биологического времени — левизна-правизна, обнаруженная, в частности, в динамике лево- и правозавернутых форм в популяциях четвертичных планктонных фораминифер. Кхерадцир [10], исследовав колонки плиоплейстоценовых осадков Тихого океана во впадине Таннер, к западу от Лос-Анжелеса, обнаружил в массовом количестве раковины глобигерин с разным направлением завернутости — левым и правым. Можно рассматривать этот феномен в качестве моногибридного расщепляющегося наследственного признака, поскольку лево- и правозавернутые формы сосуществуют в популяциях фораминифер. От позднего плиоцена до современной эпохи в бассейне Таннер дважды сменились холодноводные и тепловодные ассоциации. В первой из них доминировали лево-, а во второй — правозавернутые формы корненожек. Это коррелируется с чередованием ледниковых и межледниковых эпох, низких и высоких изотопных палеотемператур. В данном случае можно видеть пример циклического изменения левизны-правизны в геологическом времени и одновременно в палеобиологическом пространстве, в ходе сопряженного мутагенеза глобигерин под воздействием изменений температурных условий обитания.

Второй пример левизны-правизны как индикатора времени-пространства связан с аминокислотами, заключенными в ске-

летных частях древних организмов. Если в живом веществе обнаружены только левые изомеры аминокислот, то после смерти организма они начинают преобразовываться в правые изомеры. По изменению отношений левых и правых изомеров можно получить структурную информацию не только о времени, прошедшем с момента гибели существа, скелетные части которого попали в руки исследователя, но и об ареалах обитания синхронных форм одного вида.

В соответствии с универсальным принципом П.Кюри можно полагать, что симметрия кораллового полипа, запрограммированная в его генотипе, и симметрия внешней среды образуют фенотип, сохраняющий в биогеохимическом и морфологическом выражении (топологическом плане расположения известывыделяющих клеток у склерактиний) только элементы, совпадающие друг с другом. Оценка таксономического значения симметрии фенотипа претерпела по мере изучения значительные изменения. Так, Э.Геккель, в первой системе класса Anthozoa основывался на представлении о полной независимости симметрии четырехлучевых, шестилучевых и восьмилучевых кораллов, обособив каждую из этих групп в ранге подклассов. Позже приводились доказательства якобы исключительно приспособительного значения симметрии коралловых полипов [13]. В последние годы утверждается взгляд на таксономическую разнокачественность симметрии кораллов и ее двойственную природу, с одной стороны, обусловленную геномом, а с другой — модифицируемую в процессе взаимодействия организма с окружающей средой в онтогенезе [14].

Многие зоологи в целом для Anthozoa исходную форму симметрии усматривают в неопределенной многолучевой. Ее протипом считается симметрия одиночных аулопорид-примитивных табулят с небольшим числом слабо выраженных септ. Общая тенденция возникновения билатеральной симметрии у кораллов обычно рассматривается в связи с появлением сплюсненной глотки полипа как приспособление ее к роли своеобразного клапана, препятствовавшего быстрому выходу воды и пищевых частиц из гастроваскулярной полости при сокращении мускулатуры тела.

Для кораллов, перешедших к сидячему образу существования, такое приспособление было, несомненно, весьма существенным. Однако двусторонне-сериальное заложение мезентерий в онтогенезе современных групп склерактиний и актиний, наличие у них двух пар направляющих мезентерий, сифонogliфов, сплюсненной в дорзовентральном плане глотки, наряду с палеонтологическими данными о билатеральности септального аппарата ругоз и постепенной замене его радиальным, - все это, скорее, свидетельствует о первичности билатерального типа симметрии.

У склерактиний мезозоя автором выявлены следующие основные типы симметрии септального аппарата:

- а) радиальный - многие *Stylina*, *Cyathophora*, *Enallhelia*, *Montlivaltia*, *Axosmilia*;
- б) радиальный с появлением на взрослых стадиях главной и противоположной септ - *Epistreptophyllum*, *Rhipidosmilia*, *Axosmilia*;
- в) радиальный, сменяющийся в онтогенезе билатеральным - *Thamasteria*, *Brachyseris*, *Actinarae*, *Comophyllia*;
- г) билатеральный - *Glenaraea*, *Amphistraea*;
- д) линейно-билатеральный - типичен для меандрических - *Muriophyllia*, *Leptoria*, *Rhipidosmilia*, *Meandroria*, *Kologyra*, *Psammogyra*, *Diploctenium*, *Rhipidogyra*;
- е) асимметричный - *Acanthogyra*.

В некоторых семействах склерактиний мезозоя встречается исключительно билатеральный тип (*Pinacophyllidae*, *Amphistraeidae*), у других его сменяет радиальный (*Microzoletidae*, *Synastraecidae*, *Thamasteriidae*); известны также семейства, в общем характеризующиеся радиальным расположением с временно возникающей в онтогенезе билатеральной симметрией (*Stylinidae*).

У одних групп кораллов симметрия мезентерий и септ поддерживается в пределах подкласса (*Alcyonaria*), у других - характеризует отряды и подотряды (*Actiniaria*, *Eupsammina*), у третьих - это признак семейства, рода или вида (*Sargophyllia*). Среди склерактиний, обитающих на илистых биотопах, известны некоторые нарушения симметрии в расположении септ.

Согласно Г.Вейлю [15], можно попытаться установить тип симметрии септ или мезентерий коралла, определить группу его автоморфизмов, т.е. группу элементов, преобразования которых оставляют без изменения все структурные соотношения исследуемого аппарата. После этого можно будет приступить к исследованию симметричных конфигураций, инвариантных относительно некоторых сочетаний элементов в системах (группах автоморфизмов).

Один из путей выявления эволюционной направленности преобразований симметрии кораллов - сравнительное изучение онтогенезов у представителей последовательно сменявших друг друга во времени видов. По мере приближения к современной эпохе радиальная симметрия начинает доминировать в онтогенезе все большего числа групп кораллов, а двусторонняя симметрия "сдвигается" на ранние стадии онтогенеза. В процессе эволюции *Saryophyllina* произошло изменение модусов онто-филогенетических преобразований - от архаллаксиса и девиации у мезозойских и палеогеновых видов до анаболии у неогеново-четвертичных видов.

Большинство ископаемых видов *Saryophyllidae* были, вероятно, эволюционно лабильными, их биогеохимические функции подвергались перестройкам на самых различных стадиях филогенеза. Поэтому сохранение типа симметрии можно связать с состоянием устойчивости их генотипа, а появление асимметрии - с изменчивостью его фенотипического (биогеохимического) выражения.

Сравнение онтогенезов некоторых близких видов кораллов [14] также позволяет сделать вывод о направленном преобразовании их симметрии. Так, по общему количеству закладывающихся септ онтогенезы *Saryophyllia clavus* Scacchi и *S. cyathus* Ell. et Sol. совпадают.

Некоторые выводы

Заканчивая общий обзор проблемы моделирования времени в геологических и палеонтологических системах отсчета, можно сделать вывод об исключительном разнообразии возможных

путей перехода к релятивистским оценкам пространственно-временных взаимодействий. Наиболее перспективны, по мнению автора, симметризуемые, биохимические и морфоструктурные характеристики таких взаимодействий, позволяющие реконструировать последовательность и направленность эволюционных преобразований ведущих биогеосистем Земли с момента их появления до наших дней, а также прогнозировать наиболее вероятные преобразования в будущем.

На основании сопоставления инвариантов преобразований появится возможность судить об индивидуальном (онтогенетическом), историческом (филогенетическом) и экосистемном времени биогеосистем. При этом все отчетливее вырисовывается относительность временных шкал в разных по масштабу и уровню взаимодействий системах отсчета, указывающих не столько на независимость развития от древнейших сообществ цианофитов до человеческих цивилизаций - сколько на необратимо-направленную эволюцию самого биосферного времени, и неповторимость сочетаний "разрешений" и "запретов" развития в каждом объект-процессе.

Список литературы

1. Мауринь А.М. Проблема биологического времени и функция Бакмана.- В кн.: Моделирование и прогнозирование в экологии. Рига, 1980, с. 3-22.
2. Мауринь А.М. Принцип необратимости в моделировании био-экологических систем.- В кн.: Моделирование и прогнозирование в экологии. Рига, 1978, с. 15-21.
3. Тимофеев-Ресовский Н.В., Воронцов Н.Н., Яблоков А.В. Краткий очерк теории эволюции.- М., 1977.
4. Краснов Е.В. Склерохронология.- В кн.: Проблемы времени в геологии. Владивосток, 1979, с. 78-91.
5. Clark G.R. Mollusk shell: daily growth lines.- Science, 1968, vol. 161, n 3843, p. 800-802.
6. Фритс Х. Дендрохронология.- В кн.: Четвертичный период в США. М., 1968, с. 667-681.
7. Соколов Б.С. Табуляты палеозоя Европейской части СССР. Введение.- Тр. ВНИГРИ, 1955, вып. 85.

8. Вернадский В.И. Размышления натуралиста. Пространство и время в неживой и живой материи. - М., 1975.
9. Девдариани А.С. Сигналы из глубин Земли и ее геологического прошлого. - М., 1974.
10. Kheradpir A. Foraminiferae trends in the Quaternary of Tanner Basin, California. - *Micropaleontology*, 1970, vol.16, N 1, p.102-116.
11. Краснов Е.В., Позднякова Л.А. Кальций-магниеиые отношения в кальците раковин морских моллюсков как показатель специфических и неспецифических реакций. - Доклады АН СССР, 1975, т.220, №6, с.1432-1434.
12. Овчинников Н.Ф. Принцип сохранения. - М., 1966.
13. Яковлев Н.Н. Организм и среда. - М., -Л., 1964.
14. Краснов Е.В. О направленности эволюции на примере некоторых групп морских беспозвоночных. - В кн.: Материалы Эволюционного семинара. Владивосток, 1973, с.7-26.
15. Вейль Г. Симметрия. - М., 1968.

В.А.Балодис
ЛГУ им.П.Стучки (Рига)

ВРЕМЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ РАДИАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ДРЕВЕСИНЫ

За последнее время достаточно обстоятельно разработан биологический, или дендроклиматический метод изучения изменений климата. Основная идея этого метода хорошо известна: на поперечном разрезе ствола любого дерева обнаруживается серия концентрических колец. Каждое кольцо свидетельствует о годовичном приросте дерева, а подсчет всех слоев дает возраст дерева. Совокупность колец данного дерева предвзывает очевидную хронологическую ценность, каждое отдельное кольцо само по себе представляет ценность климатологическую. Оно является отражением истории метеорологических условий — благоприятных или неблагоприятных, существовавших в год образования этого кольца. Год благоприятный — кольцо широкое, толстое. Год неблагоприятный — узкая каемка, иногда еле заметная. Годичное кольцо суммирует метеорологические данные того года, в котором оно образовалось. Оно как бы дает климатическую оценку этому году [4].

Тем не менее корреляция между шириной годовичных колец и усредненными за год или сезон роста характеристиками погоды часто несущественна [2;9]. Одна из причин этого — нелинейность связи между ростом и погодными условиями в различные периоды роста. Поэтому увеличилось количество исследований, в которых выявляется зависимость между шириной годовичных колец и погодой в различные периоды года [8;12-14;16]: Однако и этот подход не безупречен, так как представляет собой другую крайность — объясняет колебания ширины годовичных колец погодными условиями лишь короткого периода года. Непосредственный контроль за радиальным ростом ствола при помощи дендрометров или стальных измерительных лент [5;7;10,11;15] требует продолжительных и регулярных стацио-

нарных наблюдений и при этом вместе с ростом древесины суммируется и рост флоэмы и перидермы.

На фоне перечисленных трудностей, которые возникают при исследовании зависимости между шириной годичных колец и погодой, перспективным представляется изучение хода роста древесины по структуре годичных колец [1;3].

Древесина растёт за счет деятельности ее зоны роста. Она включает инициали камбия, камбиальную зону древесины и зону растяжения клеток ксилемы (рис. I). Зона роста ксилемы обладает высокой степенью векторизованности (закономерной ориентированности) процесса роста. Рост преимущественно протекает в радиальном направлении. Тангентальный рост молодых клеток ксилемы по сравнению с радиальным незначителен и, как правило, жестко связан с увеличением диаметра ствола, т.е. зависит от радиального роста. Радиальный рост клеток ксилемы идет исключительно в центростремном направлении. Это обеспечивается наружным по отношению ко ксилеме расположением зоны роста.

В результате векторизованности процесса роста ксилемы клетки по ширине годичного кольца расположены в порядке их возникновения - на внутренней стороне кольца находятся клетки, которые образовались в начале роста данного сезона, а по направлению к камбию в порядке возникновения расположены клетки более поздних этапов роста. Особенно наглядно эта временная упорядоченность клеток видна у хвойных. У них ксилема преимущественно состоит из клеток одного типа - трахеид. На поперечных срезах древесины видны четкие радиальные ряды трахеид. Каждый такой ряд - потомство одной инициальной клетки, а каждая последующая клетка - ступень в хронологическом ряду трахеид.

Для хвойных, по сравнению с двудольными древесными растениями, характерно, кроме того, более строгое соответствие между радиальной шириной трахеид и их ростом. Во-первых, радиальные ряды трахеид представлены клетками, образование которых протекает по единой схеме. Формообразующая роль гибели или передвижения клеток здесь, по-видимому, ничтож-

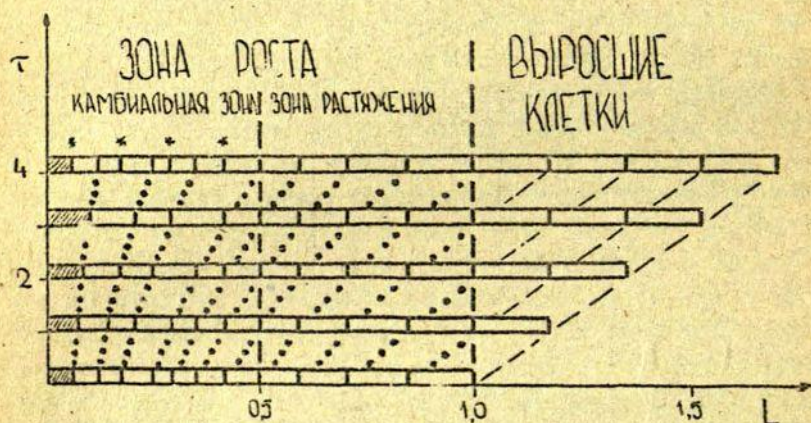


Рис. I. Схема временной организации роста древесины при идентичной конечной радиальной ширине выросших клеток. По оси абсцисс - расстояние от внешней границы камбия; по оси ординат - время. ▨ - инициалы камбия; ... экспоненциальный рост клеток; - - - удаление от инициалы выросших клеток; * - места образования новых тангентальных стенок.

на. Во-вторых, анатомическое строение древесины хвойных свидетельствует об относительно жесткой связи между соседними клетками. Радиальный рост трахеид у хвойных носит симпластический характер. Интрузивный же рост трахеид [6], судя по анатомическому строению древесины хвойных, в основном влияет на продольные и тангентальные размеры трахеид. Перечисленные особенности формирования древесины хвойных делают их наиболее подходящим объектом для исследования связи между радиальными размерами клеток и ростом ксилемы. Поэтому в дальнейшем мы будем обсуждать только радиальный рост трахеид хвойных растений.

Гистометрическая индикация [1] хода роста древесины предполагает наличие зависимости между скоростью радиального роста и радиальной шириной трахеид. Эта зависимость наблюдается при сравнении результатов изучения изменения скорости прироста стволов в толщину в течение сезона и тренда радиальной ширины трахеид: падению скорости роста в конце сезона соответствует уменьшение ширины клеток по направлению к внешней границе годичного кольца [2;3]. На трахеидограммах, наряду с общей тенденцией изменения ширины клеток, наблюдается и локальные отклонения от общего тренда. Показано, что эти локальные минимумы или максимумы радиальной ширины клеток могут быть характерны для данного года у разных образцов одного и того же дерева [1], а также совпадать для разных деревьев одного вида и места произрастания [3]. Эти отклонения связывают с соответствующими изменениями скорости роста древесины в результате погодных колебаний в течение сезона роста [3].

Подобные данные свидетельствуют в пользу возможности восстановления кинетики роста древесины хвойных по размерам трахеид. Однако метод гистометрической индикации сезонного хода роста требует еще тщательной разработки. Некоторые особенности роста ксилемы, которые связаны с временной организацией ее зоны роста, обсуждаются в данной работе.

Представим, что процесс роста ксилемы в течение некоторого промежутка времени строго стационарен: что постоянна ширина (L_G) зоны роста, радиальная ширина (l_R) выросших

клеток ксилемы и относительная скорость ($\bar{\kappa}$) растяжения в зоне роста. В таком случае постоянна и скорость (V_G) роста ксилемы, так как

$$V_G = \bar{\kappa} L_G, \quad (1)$$

и скорость (Δ_G) продукции клеток меристемой

$$\Delta_G = V_G / \ell_R. \quad (2)$$

Поскольку промежуток времени τ , за который клетка при выходе из зоны роста прекращает свой рост, обратно пропорционален величине Δ_G , при данных условиях расстояние между соседними тангентальными стенками выросших клеток, а также клеток в зоне растяжения, соответствует времени τ . При том эта "временная шкала" линейна в участке выросших клеток и в предположении экспоненциального роста [1] трахеид - экспоненциальна в зоне растяжения. Если допустить, что относительная скорость (κ) роста клеток постоянна в любом участке зоны роста и равна величине $\bar{\kappa}$, то соотношение радиальной ширины (ℓ_j) любой растущей клетки и радиальной ширины (ℓ_i) соседней, расположенной ближе к камбию клетки в зоне растяжения постоянно:

$$\ell_j / \ell_i = \exp(\kappa \tau). \quad (3)$$

При рассмотренных условиях из (3) следует, что строго определенные соотношения между радиальными ширинами соседних клеток должны существовать и в камбиальной зоне. Требуемые соотношения могут образоваться только в результате неравных делений клеток. Тангентальные стенки клеток при этой схеме роста в камбиальной зоне также представляют собой временные маркеры, только здесь их масштаб зависит от того, сколько раз данной клетке предстоит делиться до ее перехода в зону растяжения - для клеток, которые завершили последнее деление, этот временной интервал равен τ , для тех, которым предстоит еще одно деление - 2τ и т.д. (рис. 2).

В рассмотренной модели временной организации роста ксилемы предпологаались идентичные величины ℓ_R для всех клеток, которые образовались во время стационарного роста. Следстви-

ем этого оказалась необходимость строго определенного, неравного деления клеток. Столь жесткие ограничения, разумеется, не мыслимы в реально растущей древесине. Они полностью, однако, отпадают, если вместо $\bar{\ell}_R$ и радиальной ширины отдельных клеток зоны роста в модель ввести их усредненные значения - соответственно, $\bar{\ell}_R$ и $\bar{\ell}$. Тогда та или иная степень неравности клеточных делений будет влиять лишь на дисперсию показателей $\bar{\ell}_R$ и $\bar{\ell}$.

Относительная константность величины $\bar{\ell}_R$ во время постоянной скорости роста ксилемы представляется уже вполне реальной, так же как и закономерное изменение величины $\bar{\ell}$ по ширине зоны растяжения. Эти показатели несложно получить эмпирически, если учесть, что соседние радиальные ряды клеток должны расти согласованно, с одинаковой относительной скоростью. На рис. 2 представлены схемы роста, получаемые при усреднении радиальной ширины клеток. Здесь, как и в предыдущей схеме (рис. 1), последующие тангентальные стенки клеток выросшей ксилемы и клеток зоны растяжения метят интервал времени $\bar{\tau}$. Для зоны растяжения остается в силе и соотношение (3). К тому же теперь мы можем и отбросить условие $\kappa = \bar{\kappa}$ и допустить, что величина κ по ширине зоны роста может меняться. Маркирующие свойства тангентальных стенок клеток зоны растяжения при этом остаются в силе, единственное, согласно (3) не будет выявляться экспоненциальный характер зависимости $\bar{\ell}$ от продолжительности нахождения клеток в зоне растяжения.

В камбиальной зоне при усреднении величин $\bar{\ell}$ значение тангентальных стенок как маркеров времени полностью теряется даже в том случае, если мы вернулись бы к условию $\kappa = \bar{\kappa}$ - усреднение влечет за собой необходимость допущения отличий между отдельными делящимися клетками по продолжительности (T) митотического цикла. Вообще изменение продолжительности T у камбиальных клеток само по себе меняет лишь структуру зоны роста (рис. 2). Конечная величина $\bar{\ell}_R$ непосредственно зависит от количества делений (N_D), которые в среднем протекают в каждой клетке после ее возникновения от инициали.

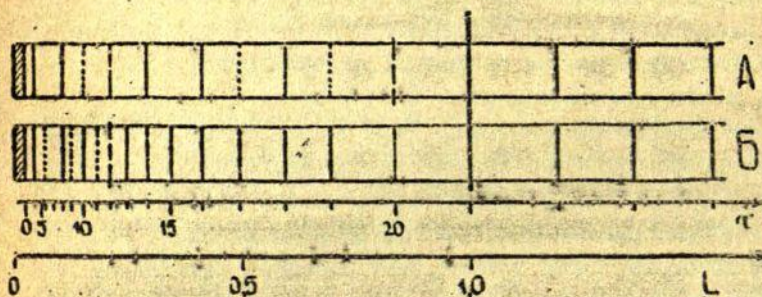


Рис. 2. Изменение усредненной радиальной ширины клеток по зоне роста при постоянной относительной скорости растяжения.

L - расстояние от внешней границы камбия; τ - временная шкала продвижения клеток по зоне роста. А и Б - радиальные ряды клеток; у обоих рядов одинаковы показатели V_G , \bar{T}_c и \bar{N}_d ; в ряду А продолжительность митотических циклов в камбиальной зоне в 2 раза больше, чем в ряду Б.

— — — — — - граница зоны роста;

- - - - - - граница камбиальной зоны;

· · · · · - вновь возникшие тангентальные стенки клеток;

■ - инициальные клетки.

Если не меняется средняя радиальная ширина инициальных клеток, то величина \bar{l}_R зависит от средней продолжительности (\bar{T}_c) их митотического цикла [1]:

$$\bar{l}_R = V_G \bar{t} = V_G \frac{\bar{T}_c}{\bar{N}_d + 1} \quad (4)$$

Определенную стабильность средней радиальной ширины инициальных клеток при постоянной скорости V_G вполне реально допустить.

По (4) наглядно видно, что конечную радиальную ширину клеток ксилемы и тем самым структурные особенности годичного кольца определяют как процесс роста растяжением, так и процесс деления клеток. Первый процесс в (4) характеризует величина V_G , второй — соотношение $\bar{T}_c / (\bar{N}_d + 1)$. По существу, при применении метода гистометрической индикации для восстановления кинетики роста в течение сезона, негласно допускается относительная стабильность процесса деления клеток при различных условиях деятельности камбия. Это предположение необходимо эмпирически проверить в первую очередь, обращая особое внимание на деятельности инициалей. При уточнении методики гистометрической индикации необходимо учесть, что формирование конечных размеров трахеид происходит в течение всего времени их роста. Деление клеток имеет место лишь в начале этого промежутка времени. Поэтому при меняющихся условиях роста взаимоотношения между ростом растяжением и делением клеток могут быть весьма сложными.

Список литературы

1. Балодис В.А. Гистометрическая индикация сезонного роста древесины. — Изв.АН Латв.ССР, 1981, 12, с. 98-103.
2. Ваганов Е.А., Терсков И.А. Анализ роста дерева по структуре годичных колец. — Новосибирск, 1977.
3. Ваганов Е.А., Старова Л.П., Шалкин А.В. Моделирование сезонного роста дерева по числу и размерам клеток в годичных кольцах. — В кн.: Исследования динамики роста организмов. Новосибирск, 1981, с. 67-78

4. Молчанов А.А. Дендроклиматические основы прогнозов погоды.-М.,1976.
5. Нарышкин М.А.,Смирнов В.В. Прибор для определения прироста деревьев.- Лесное хозяйство,1959,7,с.76.
6. Эсау К. Анатомия растений.-М.,1969.
7. Bormann F.H.,Kozlowski T.T. Measurements of tree ring growth with dial gage dendrometer and vernier tree ring bands. - Ecology,1962,43, p.289-294.
8. Brett D.W. Dendroclimatology of elm in London.- Tree-Ring Bulletin,1978,38,p.35-44.
9. Eckstein D. Die Dendrochronologie in Baugeschichte und Volkskunde.- Allgemeine Forstzeitschrift, 1979,49,S.1348-1351.
- 10.Frierner R.C. Dendrometer studies of five species of broad-leaf trees in Indiana.- Butler Univ.Bot. Stud.,1942,5,p.160-172.
- 11.Fritts H.C. Radial growth of beech in a Central Ohio forest during the growing season of 1952.-Ohio J. Sci.,1956,56,p.17-3.
- 12.Fritts H.C. Relationships of ring widths in arid-site conifers to variations in monthly temperature and precipitation.- Ecological Monographs,1974,44,4,p.411-440.
13. Hughes M.K.,Gray B.,Pilcher J.,Baillie M.,Leggett P. Climatic signals in British Isles tree-ring chronologies.- Nature,1978,272,5654,p.605-606.
14. Jazewitsch W. Zur klimatologischen Auswertung von Jahrrings Kurven.- Forstwiss. CB1,80,1961,5-6,p.175-190.
15. Kern K.G.,Moll W. Der jahreszeitliche Ablauf des Dickenwachstums von Fichten verschiedener Standorte im Trockenjahr 1959.- Allg.Forst-und Jagdztg.,1960,131,5,S.97-116.
16. Serre F. The dendroclimatological value of the European Larch (*Larix decidua* Mill.) in the French Maritime Alps.-Tree-Ring Bulletin,1978,38,p.25-34.

А.М.Мауринь, О.Э.Никодемус,
К.К.Раман
ЛГУ им.П.Стучки (Рига),
П.А.Шарковский
Институт биологии АН ЛатвССР
(Саласпилс)

ВОЗМОЖНЫЙ ПРИНЦИП ТИПИЗАЦИИ ЛЕРОТОПОВ ГОРОДСКОЙ ЭКОСИСТЕМЫ

Одной из первостепенных задач городской экологии является исследование уровня и характера накопления загрязнения в городских экосистемах. В этом отношении различные участки городской экосистемы разнятся между собой. Поэтому моделированию территориального распределения загрязнителей для оценки и прогноза состояния городской экосистемы следует предпослать типизацию участков по характеру их загрязнения. Такая типизация необходима и для экологического картирования города. В данной статье предлагается возможный подход к типизации леротопов городской экосистемы. Леротопами (от греч. *λερος* - грязный и *τοπος* - место) мы называем однотипно загрязненные участки. Другими словами, по всей территории леротопа характер накопления загрязнителей практически одинаковый.

Корректность выделения леротопов во многом зависит от методов выявления характера накопления загрязнения. Наиболее распространенными методами при исследовании загрязнения городской среды являются отбор и анализ проб воздуха в различных эталонных точках города. Такой метод дает ценную информацию для определения экологической ситуации города, но вместе с тем имеет и ряд недостатков: большая трудоемкость (регулярный отбор проб с большим числом повторностей), полученные результаты весьма изменчивы (в зависимости от погодных условий, а также характера эмиссии) и в конечном счете они не дают полного представления об интегральном накоплении загрязняющих элементов в той или иной экосистеме города.

Лишеинодикационный метод, который также часто применяется при районировании городских территорий по степени их загрязненности, в известной степени отражает суммарное воздействие загрязнения в той или иной экосистеме и ее ответную реакцию (по мере и характеру исчезновения видов-индикаторов). Но этот метод не дает представления о том, какие именно химические элементы и соединения являются основными агентами загрязнения. Кроме того, в местах с высоким уровнем загрязнения образуются так называемые "индустриальные пустыни" с полным отсутствием лишенофлоры, где лишеноиндикационные методы неприменимы. Поэтому, наряду с лабораторным анализом проб воздушного бассейна и лишеноиндикацией, важной задачей является исследование интегрального накопления загрязнения и его характера непосредственно в наличных экосистемах. С целью проведения таких исследований нами было проанализировано количественное содержание элементов $Mn, Zn, Cu, Fe, Mg, Ca, Sr, Cr, Cd, Pb, Co, Ni$ в разных (как по географическому местоположению, так и по интенсивности загрязнения) экосистемах . Ленинграда. Модельными объектами анализа накопления вышеуказанных элементов послужили листья липы (экспозиция накопления - вегетационный период) - на 18 эталонных точках, а также сфагновые мхи *Sphagnum magellanicum* Brid. , которые экспонировались два месяца (июль-август) на 12 эталонных точках. Кроме того, определено фоновое накопление загрязнения в наиболее чистом районе города (Петродворец). Количественное содержание элементов в листьях и сфагновых мхах определялось методом атомноабсорбционной спектрофотометрии. В конечном итоге выявлены коэффициенты аномалии (λ) количественного накопления каждого элемента в биомассе. Коэффициент аномалии - это отношение количественного содержания элемента в пробе данного участка к фоновому уровню, который принимается за единицу.

Эталонные точки в городе были выбраны по диагонали направления СВ-ЮЗ. Как видно из диаграмм на рис. I, по эталонным точкам город территориально можно подразделить на три зоны. Зона слабого загрязнения (А). Наименьшее общее

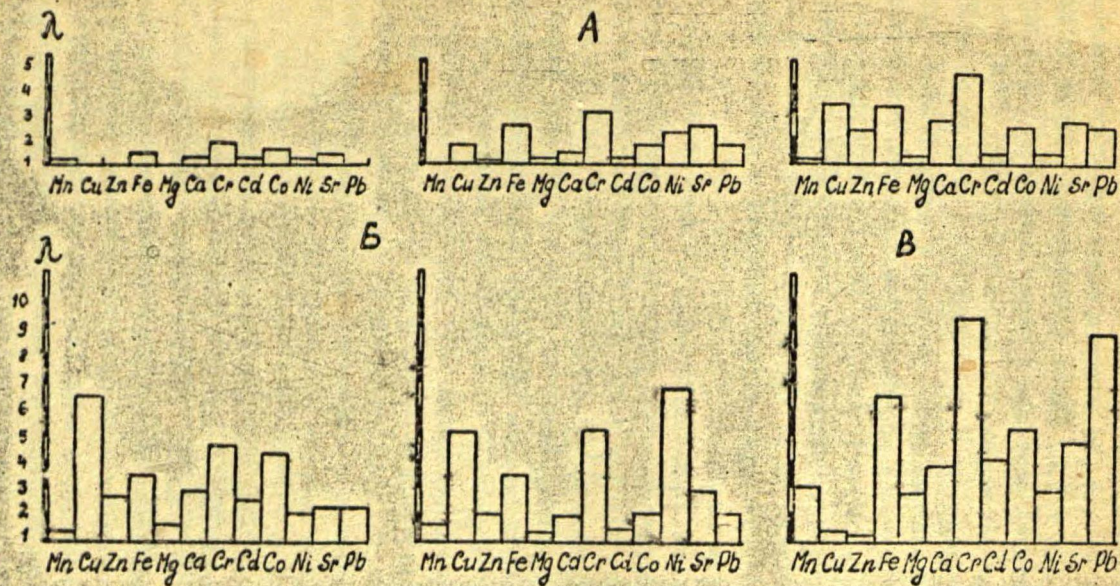


Рис. I. Изменение коэффициентов аномалии элементов загрязнения по зонам (*Sphagnum magellanicum*).

Обозначения: λ - коэффициент аномалии, А.Б.В - эталонные точки, характеризующие соответствующую зону; I - парк Челюскинцев, II - парк "Сосновка", III - у метро "Автово", Y - парк 25 октября, У - Светлановская площадь, VI - Литейный проспект.

загрязнение выявлено в парке Челюскинцев, где коэффициент аномалии у всех элементов сравнительно низкий ($\lambda = 1,0-1,3$), кроме элементов Cr и Co, по которым значение этого показателя достигает 1,8 и 1,6. Также сравнительно низкие концентрации загрязнителей выявлены в парке "Сосновка", где коэффициент аномалии исследованных элементов, кроме Pb и Cr, колеблется в пределах от 1 до 2 единиц. К этой же зоне (λ) можно отнести эталонные точки у станции метро "Автово", где количественные значения коэффициентов аномалии колеблются около 2 единиц, кроме Cr ($\lambda = 4,4$). Итак, к этой зоне относятся эталонные точки, находящиеся в наибольшем удалении от центра города. Кроме того, как видно на представленной схеме (рис. 2), северная часть города является в среднем менее загрязненной, чем южная.

Зона умеренного загрязнения (Б). По мере приближения к центру города загрязнение в среднем увеличивается, а концентрации отдельных элементов достигают максимальных значений коэффициентов аномалии. Особенно выделяются Cu ($\lambda = 5-7$), Cr ($\lambda = 4-6$), Co и Ni. Такой характер загрязнения более соответствует промышленным эмиссиям. Характерные эталонные точки - парк 25 октября и Светлановская площадь.

Зона сильного загрязнения (В). Наивысшие концентрации загрязнения выявлены в центре города (эталонная точка на Литейном проспекте), где коэффициент аномалии у большинства элементов колеблется в пределах 3-5, а некоторые элементы имеют чрезвычайно высокую концентрацию, например, Cr ($\lambda = 9,5$) и Pb ($\lambda = 8,7$).

Распределение выше описанных зон в Ленинграде имеет примерно концентрический характер с повышением уровня минимального загрязнения к центру города. Такую общую картину постепенного повышения концентрации загрязнений нарушают местные выбросы отдельных элементов. Отмеченная закономерность, по-видимому, характерна лишь для городов определенного типа. Понятно, что территориальное распределение, конфигурация, размеры и расположение зон зависят от многих факторов (рельефа городского ландшафта, господствующих ветров, характера

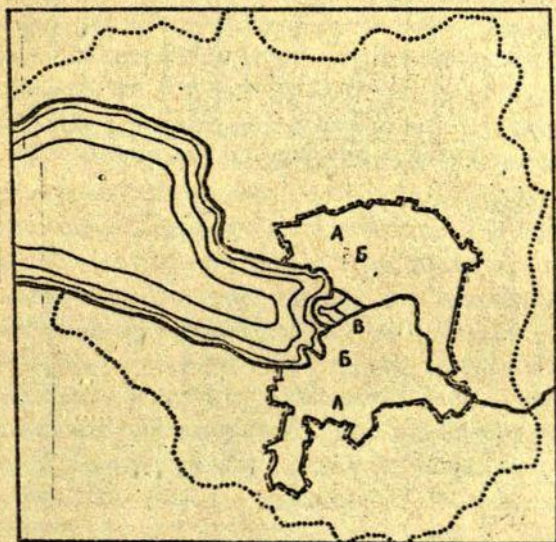


Рис.2. Схема города Ленинграда.

- - граница зеленой зоны ,
- - граница исследуемой зоны,
- А - зона слабого загрязнения,
- Б - зона умеренного загрязнения,
- В - зон. сильного загрязнения.

озеленения, размещения промышленных районов и др.).

В свою очередь, в каждой из этих зон распределение загрязнения зависит от местных факторов: физико-географического местоположения экосистемы, типа застройки, наличия местных источников эмиссии, условий проветривания и др. Так, например, в Дзержинском районе, который находится в центральной части города, при одинаковом фоновом загрязнении, на отдельных эталонных точках наблюдаются существенные различия абсолютной загрязненности. Резкое повышенное загрязнение выявлено на более оживленных магистралях - Литейном и Чернышевском проспектах, а также на улице П.Лаврова. Так, максимальная концентрация элементов Рb ($\lambda = 7,7$) и Fe ($\lambda = 4,9$) выявлена на Литейном проспекте. При этом большой интерес представляет тот факт, что концентрация загрязнения всех элементов выше в несколько отдаленных от проезжей части полузамкнутых нишах, чем непосредственно у самой магистрали. Так, в биомассе деревьев, произрастающих в такой нише (двор дома, отстоящий на 30 м от проезжей части), концентрация всех элементов существенно (на 5-42%) выше, чем на самой Литейном проспекте (рис.3). Это явление можно объяснить относительно лучшим проветриванием проезжей части улицы и накоплением загрязнения в нишах со слабым воздухообменом. Такое же явление наблюдается при сравнении накопления загрязнения на проспектах Литейном и Чернышевского. Но на соединяющей эти проспекты улице П.Лаврова выявлено повышенное загрязнение, особенно по сравнению с проспектом Чернышевского. Так, ул.П.Лаврова более загрязнена свинцом (на 12%), железом (на 22%), цинком (на 6%), хромом (на 24%), медью (на 3%) и кадмием (на 20%), чем пр. Чернышевского. Содержание некоторых элементов (хрома и кадмия) на улице П.Лаврова даже выше, чем на такой оживленной магистрали, как Литейный проспект, который по суммарному загрязнению занимает ведущее место в Дзержинском районе. Проспекты Чернышевского и Литейный имеют выход к Неве, что обеспечивает проветривание. Причем проветриванию способствует и организация движения (без частых остановок у светофоров).

Иной характер загрязнения на улицах с широким аллеи́м поясом, особенно вдоль рек и каналов. Например, в насаждениях вдоль реки Мойки и Садовой улицы наблюдается как меньшая концентрация загрязнения (рис.3), так и иной характер его накопления. Здесь концентрация большинства элементов в биомассе уменьшается по мере удаления насаждений от проезжей части. Следует отметить, что на улицах вдоль рек и каналов выявлена более низкая концентрация части элементов, чем, например, в середине Михайловского парка (рис.3), где концентрация свинца на 6%, железа на 30% и меди на 26% выше, чем на набережной р. Мойки.

На основе анализа полученных результатов в пределах каждой зоны мы выделили основные типы леротопов. При выделении леротопов и их типизации учитывали два аспекта - топический и уровень загрязнения конкретного участка по отношению к минимальному для данной зоны. Леротопы одного типа в разных зонах различаются по количественному значению концентрации того или иного загрязнителя. Но соотношения между типами леротопов по относительному уровню загрязнения во всех зонах сходные. Выделенные нами типы леротопов следующие.

1. Зеленые насаждения с хорошим проветриванием или удаленные от автомагистралей и очагов промышленной эмиссии. Характеризуются относительно наименьшей концентрацией загрязнения.

2. Открытые участки у магистралей, идущих вдоль каналов и по набережным рек. Характеризуются относительно пониженным уровнем загрязнения.

3. Парки и скверы с недостаточным проветриванием у магистралей с интенсивным движением автотранспорта и в зоне активной эмиссии промышленных предприятий. Характеризуются средним и устойчивым уровнем загрязнения.

4. Улицы, соединяющие магистрали с интенсивным движением автотранспорта, с недостаточным проветриванием. Характеризуются относительно высоким уровнем устойчивого загрязнения.

5. Магистраль с интенсивным движением автотранспорта. Характеризуются очень изменчивым уровнем загрязнения, в значительной мере зависящим от направления силы ветра, а также других условий проветривания.

6. Полузакрытые ниши у магистралей с интенсивным движением автотранспорта или в зоне высокого уровня эмиссии промышленных предприятий. Характеризуются наиболее высокой концентрацией устойчивого загрязнения.

К.К.Раман, О.Э.Никодемус
ЛГУ им. П.Стучки (Рига)

ИЗМЕНЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ
СОСНОВЫХ ЦЕНОЗОВ ПОД ВЛИЯНИЕМ
РЕКРЕАЦИИ

Опыт исследования курортных лесов г. Крмала (Рижское взморье), которые находятся под непрерывно возрастающей рекреационной нагрузкой, показал, что интенсивность деградации лесных биоценозов зависит не только от величины антропогенной нагрузки, но и от целого ряда естественных экологических факторов - литологического строения коренных пород, рельефа, типа почвы, режима увлажнения почвы, типа и внутренней структуры биоценоза, возраста древостоя и др. В более молодых биогеоценозах первой донной гряды, где почва находится в стадии формирования, в результате вытаптывания наблюдается незначительное уплотнение почвы. Действие вытаптывания здесь проявляется главным образом в прямом, механическом воздействии. В результате вытаптывания механически уничтожается уже без того естественно бедный живой напочвенный покров. Почва, характеризующаяся очень мало развитыми горизонтами, уже при сравнительно небольшой рекреационной нагрузке подвергается сильной ветряной и водной эрозии. В результате деградация биоценозов подобного типа происходит наиболее интенсивно. Более устойчивыми на первой донной гряде оказываются густые лесные насаждения.

В биоценозах на эольно-дефляциянных образованиях в виде низких плоских холмов, образовавшихся под воздействием ветра, с более развитым почвенным покровом, вытаптывание в начальных стадиях вызывает уплотнение почвы, а в конечном итоге - также развитие ветровой и водной эрозии. В биоценозах этого типа воздействие вытаптывания в большой степени зависит не только от его интенсивности, но и от рельефных условий. Нами выявлено, что при приблизительно одинаковой

нагрузке вытаптывания деградация биоценоза на вершине холмов на I-2 степени выше, чем во впадинах. Так, например, при увеличении общего удельного сопротивления почвы примерно в два раза ($3,0-3,2 \text{ кг/см}^2$ против контрольного $1,4-1,6 \text{ кг/см}^2$) между биогеоценозами холмов и впадин проявляются существенные различия. При такой степени уплотнения почвы живой напочвенный покров во впадинах хотя и состоит в основном из антропоотолерантных видов (злаков - *Poa pratensis* L., *Festuca ovina* L., *Poa annua* L.), все еще составляет 30-40% проективного покрытия. На вершинах холмов покрытие этих же видов растений составляет лишь 2-4%.

Существенные различия на этих формах рельефа наблюдаются и в состоянии древесных насаждений. За период последних 60 лет у древостоев, произрастающих на вершинах холмов, текущий прирост снизился примерно в полтора раза больше, чем во впадинах. В результате на холмах происходит более интенсивная деградация древостоев, они существенно (в 1,5 раза) более изрежены. Это явление объясняется тем, что ценозы страдают от недостатка влаги, так как основным источником увлажнения почвы являются атмосферные осадки, которые, при увеличении удельного сопротивления почвы до $2-2,4 \text{ кг/см}^2$, стекают с вершин холмов. С другой стороны, при более интенсивном воздействии вытаптывания происходит поверхностная денудация почвы, в результате чего верхние горизонты сносятся с вершин холмов и накапливаются во впадинах. Поэтому во впадинах мощность гумусного горизонта часто в 2-3 раза выше, чем на вершинах холмов. Это отражается и на режиме питания растений. Так, например, содержание K_2O (мг на 100 г почвы) в гумусном горизонте во впадинах выше почти в 2 раза ($5,2-5 \text{ мг/100 г}$ против $2,1-3 \text{ мг/100 г}$), а P_2O_5 - около 1,5 раза ($2-2,2 \text{ мг/100 г}$ против $3-3,8 \text{ мг/100 г}$), чем на вершинах холмов.

На второй гряде дюн, которая характеризуется более высокой относительной высотой и более крутыми склонами, а также более развитым почвенным покровом (доминируют дерново-оподзоленные и типично оподзоленные почвы), влияние рекреационной деятельности выражено в гораздо меньшей степени,

чем в биоценозах на первой дюнной гряде. Здесь в наименьшей степени повреждены склоны, экспонированные в противоположную от моря сторону. Это объясняется тем, что на вершине дюнной гряды и на склоне, противоположном морю, под действием ветра отложились мелкие и пылеватые частицы песка. В результате образуются условия более высокой трофичности, формируются более густые подлесок и подрост. Обилие подроста и подлеска, а также более высокий наклон скатов второй гряды дюн в значительной степени затрудняют передвижение отдыхающих по склонам. В результате здесь наблюдаются относительно меньшие повреждения, особенно на склоне, противоположном морю. Наибольшие повреждения, а местами и усыхание древостоя наблюдается на вершине гряды, где проходят тропы, параллельные морю. Следует отметить, что из-за более крутых склонов и более интенсивного поверхностного стока на вершине второй гряды деградация древостоев происходит гораздо интенсивнее, чем на холмах эольной дефляции.

За второй грядой дюн значительную территорию занимает система береговых валов. Относительные высоты этих валов небольшие (1-2 м), при этом их высота постепенно понижается в сторону моря. В зависимости от местоположения существенно различается и глубина залегания грунтовых вод (во впадинах 0,5-1 м, на вершинах валов 2-3 м), что в большой степени определяет как структуру биоценозов, так и степень их антропоустойчивости. В естественных, мало преобразованных лесах живой напочвенный покров на вершинах валов представлен брусникой и вереском, а во впадинах - черникой и багульником. В биоценозах на выраженном рельефе, так же, как и в дюнной зоне, ответную реакцию растения на рекреационную деятельность в значительной степени обуславливают естественные экологические факторы (в основном местоположение на рельефе). Нами выявлено, что при одинаковой рекреационной нагрузке (тропы проходят поперек береговых валов и впадин) антропогенная дигрессия живого напочвенного покрова в большинстве случаев различается на 1-2 степени, в зависи-

симости от условий рельефа: на вершинах валов обычно на одну степень выше, чем во впадинах. Разное влияние действие вытаптывания оказывает также на почвенный режим этих двух типов биогеоценозов. Так, например, содержание K_2O в биоценозах IV и V степени рекреационной дигрессии различается на 20-30% (35-45 мг/100 г против 25-30 мг/100 г почвы), но содержание P_2O_5 практически не меняется. На вершинах валов и в верхних частях склонов содержание K_2O и P_2O_5 в почве биогеоценозов IV и V степени рекреационной дегградации в два и более раза снижено по сравнению с контролем (неповрежденные биогеоценозы). Удельное сопротивление почвы в конкретных биогеоценозах почти одинаково как на вершинах валов, так и во впадинах (0,4-0,6 кг/см²). Резкое отличие в плотности почвы, а также мощности гумусного горизонта начинается с IV стадии рекреационной дигрессии живого напочвенного покрова, когда начинается денудация вершин холмов и снос части гумусного горизонта. Поэтому и наблюдается большая разница в мощности этого горизонта, который во впадинах в 2-3 раза мощнее, и удельное сопротивление почвы на 20-30% меньше.

С другой стороны, при сходных условиях плотности почвы, биогеоценозы вершин валов и впадин отличаются различной стадией дигрессии живого напочвенного покрова. Так, например, при удельном сопротивлении почвы 1,4-1,5 кг/см² во впадинах преобладает естественный живой напочвенный покров (III стадия рекреационной дигрессии), а на вершинах холмов при достижении этих же величин уплотнения почвы доминируют луговые виды (*Poa annua*, *Festuca ovina*). На вершинах холмов характерный для естественного леса живой напочвенный покров почти полностью исчезает при достижении плотности почвы 1,8 кг/см²; во впадинах - при плотности 2,2 кг/см².

Различную ответную реакцию на воздействие вытаптывания проявляет и древостой этих местонахождений. На вершинах заметная дегградация наличных древостоев (уменьшение текущего прироста на 40-50%; уменьшение полноты на 20% за счет усохших и вырубленных деревьев) проявляется при достижении IV стадии дигрессии живого напочвенного покрова. В то же время

как во впадинах на той же стадии дигрессии наблюдается лишь незначительное снижение текущего прироста (на 15-20%) и не проявляются существенные признаки деградации. В среднем, явное снижение текущего прироста древостоя начинается при достижении удельного сопротивления почвы $2,3 \text{ кг/см}^2$, а при превышении 3 кг/см^2 начинается интенсивная деградация. Иная картина наблюдается во впадинах с избыточным увлажнением, появлением признаков заболевания на торфяно-перегнойных почвах, где ускоренная деградация наличных древостоев происходит уже при сравнительно небольших рекреационных нагрузках и низкой плотности почвы (начиная с $1,4-1,6 \text{ кг/см}^2$). Оказалось также, что в большой мере воздействие вытаптывания на лесной биогеоценоз зависит от степени минерализации органического вещества в почве. На торфяных почвах, при относительно незначительной минерализации, деградация наличных древостоев происходит намного интенсивнее чем на минеральных.

Обобщение и анализ результатов наших исследований показали, что эффект воздействия вытаптывания и ответная реакция биоценозов существенно зависят, кроме рекреационной нагрузки, от ряда природных экологических факторов (рельефа и местоположения на нем, литологического состава коренных пород, увлажнения, типа и свойств почвы, типа леса, возраста и структуры наличного древостоя). Поэтому для эколого-прогностической оценки и планирования освоения рекреационных территорий необходимо детальное изучение этих факторов и их сочетаний, чтобы обеспечить оптимальное их использование. При определении допустимых нагрузок в условиях выраженного рельефа и большой мозаичности биогеоценоза необходимо ориентироваться на самые неустойчивые и наиболее уязвимые биогеоценозы. Только после проведения всестороннего анализа комплекса антропогенных и естественных факторов, существенно влияющих на сукцессию биоценоза, можно приступить к его эколого-прогностическому картированию.

О.Э.Никодемус
ЛГУ им. П.Стучки (Рига)

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОКОМПОНЕНТОВ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ВЛИЯНИЯ РЕКРЕАЦИИ НА ЛЕСНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ

В большинстве опубликованных работ изучение влияния рекреации на лесные экосистемы опирается в основном на данные о состоянии и изменении отдельных геокомпонентов - живого напочвенного покрова, древостоя, почвы, рельефа.

На основании анализа таких данных делаются выводы об изменении экосистемы в целом. Исследования, проведенные нами в курортных лесах города Юрмала, показывают, что данных о состоянии отдельных геокомпонентов явно недостаточно для объективной оценки степени адаптации изучаемой экосистемы к растущим антропогенным нагрузкам или ее ожидаемой деградации. Для таких выводов необходимо изучить структуру системы и характер ее изменения во времени, а также взаимосвязи геокомпонентов.

В качестве объекта для наших исследований был взят бор брусничник в системе береговых валов взморья. Местность характеризуется взаимно почти параллельными береговыми валами, у которых небольшие относительные высоты (1-2,5 м), при этом высота валов постепенно снижается в сторону моря. В этом районе были заложены два пробных трансекта поперек береговых валов. Первый - в естественно мало преобразованном брусничнике, второй - по тропинке, которая проходит поперек береговых валов. На этих трансектах, в зависимости от местоположения на рельефе, были заложены пробные площади. На каждой пробной площади в 1977, 1979 и 1980 годах по сезонам мы определили видовой состав живого напочвенного покрова и проективное покрытие, тип почвы и ее удельное сопротивление, глубину залегания грунтовых вод, а также текущий прирост древостоя. В лаборатории сделаны физико-химические, химические и физические анализы почвы

по общепринятой методике [1,2].

Результаты наших исследований показали, что несмотря на небольшие относительные высоты валов, местоположение на рельефе играет большую роль в образовании почвы и фитоценоза. На вершинах и склонах доминируют перегнойно-торфянистые сильно- (средне) подзолистые песчаные почвы с орштейновым горизонтом; в междюнных впадинах - торфянисто-перегнойная сильноподзолистая песчаная почва. Полученные нами результаты подтверждают данные Г.Межала о том, что орштейновый горизонт подстилается слоем с капиллярно-подпертой водой [3]. В зависимости от местоположения на рельефе изменяются физико-химические и химические характеристики почвы (рис.1). Важнейшее значение в таком распределении подтипов почвы и ее свойств имеет глубина залегания грунтовых вод (во впадинах 0,5-1 м, на вершинах валов 2-3,5 м), экспозиция склонов, а также видовой состав живого напочвенного покрова. Живой напочвенный покров на вершинах и склонах представлен *Vaccinium vitis-idaea* L. (23-44%)*, *Hylocomium splendens* (Hedw.) Br. eur. (49-89%), *Melampyrum pratense* L. (10-17%), а во впадинах - *Vaccinium myrtillus* L. (37-47%), *Vaccinium vitis-idaea* L. (15-40%), *Pleurozium schreberi* (Willd.) Mitt. (14-29%) и другими видами. Все исследованные геокомпоненты находятся во взаимодействии. Исходя из такой концепции мы подошли к изучению влияния рекреации на экосистему.

Как указывает Г.В.Рогова [4], основным фактором рекреационной деятельности, вызывающим подрыв и гибель природных экосистем, является вытаптывание. Лишь небольшая доля из общего комплекса причин повреждения экосистем относится к другим видам влияния рекреационной деятельности (вырезки на стволах деревьев, ломка ветвей, сбориание цветов и пр.), которые обычно существенно не влияют на устойчивость всей экосистемы. Отрицательное влияние вытаптывания на лесные биогеоценозы проявляется как непосредственно (механическое

* В скобках указано проективное покрытие.

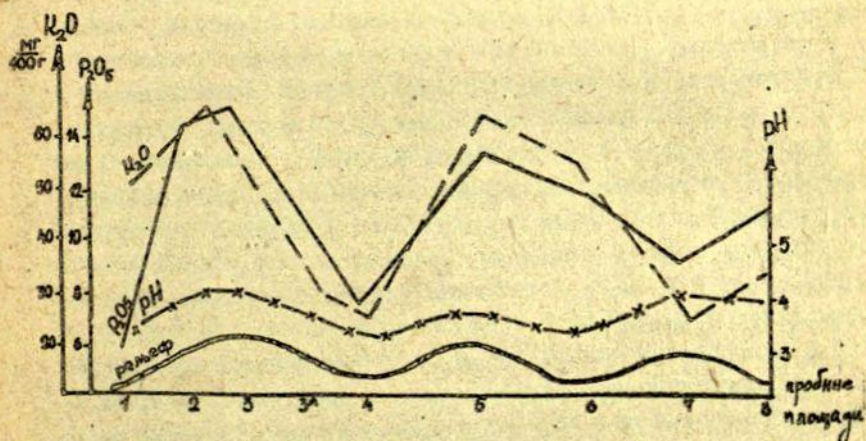


Рис. 1. Изменение показателей K_2O , P_2O_5 и pH в зависимости от местоположения на рельефе в естественном непреобразованном брусничнике (I-й трансект).

уничтожение живого напочвенного покрова, подлеска и подроста; уплотнение почвы), так и косвенно - нарушением естественной структуры биотического круговорота во всем биогеоценозе.

По нашим данным, все геокомпоненты экосистемы не реагируют одинаково быстро на вытаптывание. Первыми на этот процесс начинают реагировать живой напочвенный покров и почва. Живой напочвенный покров - наиболее пластичный и лабильный компонент в природном комплексе [5]. Разрушение подстилки и уплотнение почвы приводят к вытеснению характерных для данного биогеоценоза лесных видов луговыми. Так, например, на 2-й стадии дигрессии в брусничнике сохраняется еще большинство лесных видов, но появляется *Calamagrostis epigeios* (L.) Rth. На третьей стадии дигрессии, в связи с сокращением численности подроста и подлеска, повышается освещенность живого напочвенного покрова. Развивается куртинно-полянны комплекс. При четвертой и пятой стадиях дигрессии в брусничнике живой напочвенный покров состоит в основном из наиболее антропоотолерантных видов луговой и сорной растительности. Из лесных видов на четвертой дигрессионной стадии в системе донных валов сохраняется лишь *Vaccinium vitis-idaea* L. На пятой стадии дигрессии самое большое проективное покрытие дают *Festuca rubra* L. и *Poa annua* L. Лесные виды практически здесь отсутствуют. Таким образом, в процессе рекреационной дигрессии четко выявляется непрерывное изменение количественного и качественного соотношения между растениями коренного лесного фитоценоза и лугового. Однако, как показали наши исследования, далеко не всегда можно делать однозначные выводы о деградации всей экосистемы, используя лишь данные об индикаторных видах и их проективном покрытии. Часто индикаторные виды показывают четвертую или пятую стадию дигрессии, а проективное покрытие (70-80%) соответствует второй-третьей стадии. В таком случае требуется внимательно разобраться, какие именно виды дают большее проективное покрытие.

Второй компонент, очень чутко реагирующий на вытапты-

вание - почва. О влиянии реакции на изменение физических свойств почв написано немало работ. Как указывают некоторые авторы [6], при интенсивной рекреационной деятельности уплотнение почвы повышается в шесть раз. Подобные данные приводит Л.О.Машинский [7], отмечая к тому же, что при увеличении плотности почвы изменяется и ее удельный вес. Уплотнение почвы, в свою очередь, приводит к резкому снижению водопроницаемости, порозности и воздухообмена. По данным Л.О.Машинского, водопроницаемость на тропинках снижается в 7 раз по сравнению с естественными биогеоценозами. Сходные результаты получаются на песчаных почвах в сосновом лесу под влиянием главных рубок и трелевки, когда водопроницаемость уменьшается в шесть раз [8]. Как показали наши исследования, плотность (удельное сопротивление кг/см^2) под влиянием сильного вытаптывания на вершинах может увеличиться до 6 раз ($3,6 \text{ кг/см}^2$ против $0,61 \text{ кг/см}^2$), а во впадинах - до 4,8 раза ($2,88 \text{ кг/см}^2$ против $0,58 \text{ кг/см}^2$). Хотя рекреационная нагрузка в обоих местах почти одинаковая, максимальное удельное сопротивление существенно отличается. Важными эдафическими факторами становятся мощность торфянисто-перегнойного горизонта почвы (во впадинах в 2-3 раза мощнее, чем на вершинах валов) и степень ее минерализации, которая в 4-5 раз выше на вершинах. В зависимости от местоположения на рельефе, при одинаковой плотности торфянисто-перегнойной подзолистой почвы во впадинах начальная ее фильтрация в три раза ниже, чем на вершинах. В свою очередь, после начальной фильтрации водопроницаемость в несколько раз хуже в почвах на вершине и склонах, чем в междюнных впадинах. Резкое ухудшение водопроницаемости почвы способствует образованию поверхностного стока, из-за чего на крутых склонах уничтожается подстилка и возникает сильная эрозия. Кроме того, ухудшение водно-физических свойств почвы на вершинах еще определяется понижением полевой влагоемкости (рис.2). Как видно на графике (рис.2), все четыре параметра - полевая влагоемкость и удельное сопротивление почвы, мощность $A_0 T$ -горизонта, стадия дигрессии, - взаимно коррелируют. При повышении рекреационной

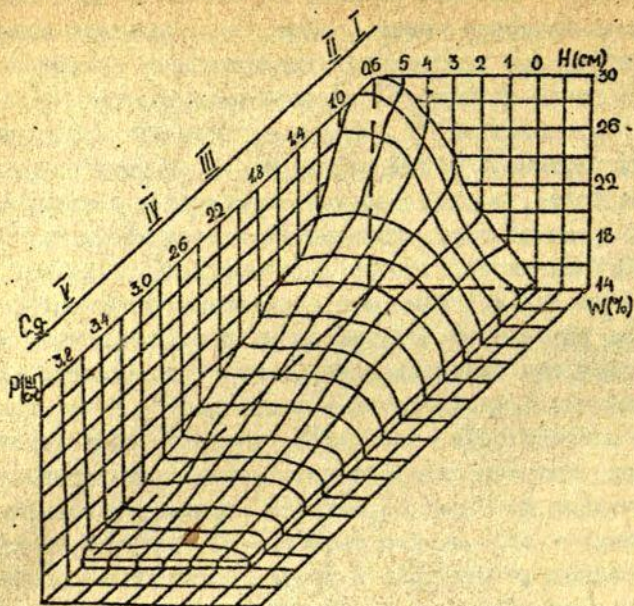


Рис.2. Изменение удельного сопротивления (P кг/см^2) полевой влагоемкости (W %), мощности A_0T горизонта (H , см) почвы и стадии дигрессии живого напочвенного покрова в зависимости от изменения биогеоценоза под влиянием вытаптывания в брусничнике (изменения биогеоценоза характеризует стадия дигрессии живого напочвенного покрова.).

нагрузки возрастает удельное сопротивление почвы и деградация биогеоценоза, снижается полевая влагемкость и мощность A_0T -горизонта. По графику видно, что резкое ухудшение почвенных условий происходит при переходе биогеоценоза на третью стадию депрессии. На вершинах дн недостаточная водообеспеченность растений еще более усугубляется тем, что здесь капиллярно-подпертая влага не достигает верхних горизонтов почвы.

Существенное влияние на развитие фитоценоза оказывает удельный вес почвы. Как указывает М. Горшенин и др. [9], удельный вес почвы при интенсивной рекреационной деятельности увеличивается на 41%. Наши исследования показывают, что изменение удельного веса, при почти одинаковой рекреационной нагрузке, зависит от местоположения на рельефе и характера почвы. В системе дюнных валов на вершинах дн удельный вес почвы повышался до 57%, а во впадинах - до 64%. По данным литературы [10], сосна обыкновенная нормально развивается еще при удельном весе почвы $0,95 \text{ г/см}^3$, а при повышении этого показателя до $1,13 \text{ г/см}^3$ начинает усыхать. В ходе исследований выявлено, что в мало преобразованном брусничнике удельный вес в верхних почвенных горизонтах (до 10 см глубины) различается по местоположению на рельефе: на вершинах этот показатель около $0,9 \text{ г/см}^3$, а во впадинах - $0,6 \text{ г/см}^3$. Как уже отмечалось выше, во впадинах удельный вес почвы даже при интенсивном вытаптывании не достигает критического для произрастания сосны уровня. Другая картина выявляется при рассмотрении результатов распределения удельного веса почвы в зависимости от нагрузки вытаптывания на вершинах холмов. Критический уровень ($1,13 \text{ г/см}^3$) достигается уже на третьей стадии депрессии, которая определена по живому напочвенному покрову. Этот качественный скачок совпадает с рассмотренным выше изменением мощности A_0T -горизонта, а также общей деградацией почвы.

В литературе еще мало данных об изменении химических и физико-химических свойств почвы под воздействием рекреации. Как показали наши исследования, с увеличением рекреационной нагрузки и при условии уничтожения лесной подстилки,

как правило, происходит снижение кислотности, т.е. увеличение pH в горизонте A_0T с 3,2-4,0 до 4,1-4,6. В нижележащих почвенных горизонтах эта тенденция выражена слабее. Содержание органических веществ в A_0T -горизонте на вершинах валов понижается с 58,2 до 2,4%, а во впадинах с 81,4 до 12,3% и даже ниже при резком возрастании нагрузки вытаптывания. Такая же тенденция наблюдается в изменении содержания общего азота в почве, которое снижается с 1,12% до 0,02%. Содержание P_2O_5 и K_2O в почве в пределах II, III и IV стадий дигрессии изменяется незначительно (K_2O - 20-30 мг, P_2O_5 - 6-10 мг на 100 г почвы). Только в результате эрозии почвы K_2O и P_2O_5 накапливаются в междонных понижениях больше, чем обычно (рис. 1, 3). При пятой стадии дигрессии уже отмечается нехватка этих элементов: K_2O - 0,05-2,0 мг, P_2O_5 - 0,2-1 мг на 100 г почвы, что соответствует их содержанию в материнской породе.

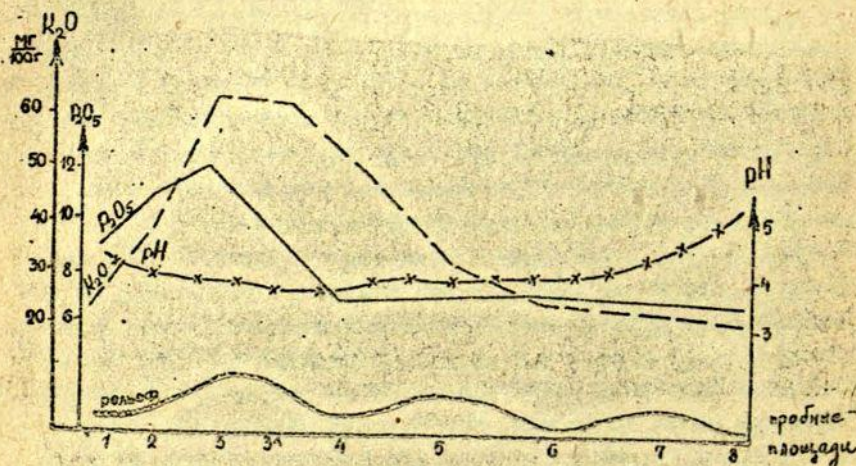


Рис. 3. Изменение показателей K_2O , P_2O_5 и pH в зависимости от местоположения на рельефе в измененном биогеоценозе (2-й трансект):

Об изменении биохимических и микробиологических процессов в почве и вместе с тем изменении всего биотического круговорота в биогеоценозе свидетельствует сезонная динамика P_2O_5 и pH. Осенью по сравнению с весной содержание фосфора обычно увеличивается с 1,0 до 3,0 мг на 100 г почвы, а pH снижается. Увеличение содержания этого элемента осенью происходит за счет органического фосфора. При интенсивной же рекреационной деятельности сезонные изменения этих показателей отсутствуют.

На основании изложенного можно сделать вывод, что вытаптывание нарушает естественную связь между отдельными геокомпонентами. В результате возрастает опасность выхода химических элементов из биотического обращения и поступления их в большой геологический круговорот. Обычно это серьезное обстоятельство не учитывается при моделировании и прогнозировании эффекта воздействия рекреации на лесную экосистему.

Воздействие вытаптывания на древостой проявляется в основном косвенно. Начало процесса деградации древостоя обычно происходит визуально незаметно, и как показали наши исследования, после длительного периода кажущейся медленной деградации может произойти качественный скачок — начинается массовая гибель деревьев. Как уже отмечалось, при ухудшении почвенных условий существенные изменения древостоя начинаются лишь с третьей стадии дигрессии живого напочвенного покрова, когда текущий прирост древостоя снижается до 80-90% от нормального. На четвертой стадии деградации текущий прирост снижается в 1,5-2 раза, а снижение этого показателя примерно в три раза свидетельствует уже о предстоящей массовой гибели деревьев [II].

Из нашей работы следует общий вывод, что до третьей стадии дигрессии живого напочвенного покрова бора и брусничника можно говорить лишь о дигрессии биогеоценоза. До этой стадии в экосистеме несколько изменяются только физические свойства почвы, видовой состав и проективное покрытие живого напочвенного покрова. Эти компоненты, после существенного снижения рекреационной нагрузки на биогеоценоз, относительно быстро восстанавливаются, хотя и с различной скоростью.

тью. До третьей стадии дигрессии деградация древостоя еще не начинается. Таким образом, третью стадию дигрессии живого напочвенного покрова можно использовать в качестве индикатора для установления предела допустимой рекреационной нагрузки. При дальнейшем увеличении нагрузки начинается деградация всего биогеоценоза. Физические и физико-химические свойства почвы ухудшаются до такой степени, что начинается деградация древостоя. Видовой состав живого напочвенного покрова почти полностью замещается луговыми растениями. Дальнейшая деградация биогеоценоза может привести к гибели естественной экосистемы, явные признаки чего проявляются на пятой стадии дигрессии.

На основании анализа результатов нашей работы можно сделать также вывод о том, что ни один из исследовательских отдельных геокомпонентов не достаточен для использования его в качестве интегрального показателя при оценке и прогнозировании состояния экосистемы на всех стадиях дигрессии ее компонентов. Таким интегральным показателем является (начиная с третьей стадии дигрессии) текущий прирост древостоя, удобный метод определения которого разработал И. Лиепа [12]. Чтобы облегчить процесс разработки моделей для оценки эффекта начальных этапов воздействия рекреации на лесные фитоценозы и прогнозирования ожидаемых изменений их состояния, необходимо найти интегральный показатель по отдельному геокомпоненту, четко проявляющийся с самого начала изменения естественной экосистемы. Одновременно следует разрабатывать методы множественного анализа существенных параметров всех геокомпонентов биогеоценоза.

Список литературы

1. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почвы и грунтов. - М., 1973.
2. Мякина Н.Б., Аринушкина Э.В. Методическое пособие для определения результатов химических анализов почв. - М., 1979.

3. Mežals G. Meža augšnes zinātne.- Rīga, 1980.
4. Рогова Г.В. О влиянии вытравывания на растительность ценозов лесного луга и сосняка черничномшистого.- Экология, 1976, №4, с. 84-87.
5. Кукотенко П., Чалая И., Черкасова Л. Вопросы методики определения рекреационной емкости территорий для кратковременного массового летнего отдыха.- В кн.: Повышение рационального использования природных условий и ресурсов Советской Прибалтики. Рига, 1974, вып. 2.
6. Никитин Д.П., Новиков Ю.В. Окружающая среда и человек.- М., 1980.
7. Машинский Л.О. Вопросы повышения емкости природных лесных комплексов.- В кн.: Рекреационная география, М., 1976.
8. Назаров Г.В. Гидрологическая роль почвы.- Л., 1981.
9. Горшенин М. и др. Экспериментальные исследования влияния рекреационной нагрузки на компоненты лесного биогеоценозиса.- М., 1979.
10. Зелипов В.Д., Пошнова В.Г. Влияние уплотнения почвы на насаждения в лесопарках.- Лесное хозяйство, 1961, №12.
11. Раман К.К. Ретроспективный подход к оценке воздействия деградиционных факторов на лесные биоценозы рекреационного назначения.- В кн.: Растительный мир охраняемых территорий. Рига, 1978, с. 42-55.
12. Мауринь А.М., Раман К.К., Лиела И.Я. Концепция и методика эколого-прогностической оценки рекреационных лесов.- В кн.: Моделирование и прогнозирование в экологии. Рига, 1978, с. 36-42.

З.Д. Мешковский

Лиепайский государственный педагогический институт им. В.Лациса.

(Лиепая)

АДАПТИВНОЕ ЗНАЧЕНИЕ ГРУПП ДЕРЕВЬЕВ СО СХОДНЫМ ТИПОМ РЕАКЦИИ

Существенные изменения условий произрастания деревьев отражаются в ходе их ростовых процессов. Однако ответная реакция отдельных деревьев на воздействие одних и тех же факторов среды имеет индивидуальные особенности, выражающиеся в большей или меньшей сопряженности роста деревьев с изменением условий среды. Экопопуляционная роль индивидуальных особенностей реакции деревьев надлежащим образом еще не осмыслена, особенно это касается адаптации деревьев к усиливающемуся воздействию антропогенных факторов.

Задачей нашего исследования являлось выделение из всей массы деревьев популяции групп сходного типа реакции на факторы среды, в том числе антропогенные, а также изучение особенностей радиального прироста деревьев выделенных групп. Эмпирический материал нами был собран в 1977-1980 гг. с 10 пробных площадей, заложенных на территории Латвийской ССР. Обследовались 302 дерева сосны обыкновенной (5 пробных площадей), 251 дерево лиственницы японской (4 пробные площади) и 107 деревьев ели европейской (1 пробная площадь). Пробные площади закладывались в разновозрастных насаждениях, а места их закладки выбирались таким образом, чтобы отразить различную степень антропогенного воздействия на древостой. На основании оценки запаса насаждения общего состояния древостоя и состояния напочвенного покрова конкретное насаждение относилось к одной из трех групп: к группе насаждений, испытывающих отрицательное воздействие антропогенного фактора (промышленных эмиссий, вытаптывания почвы); к группе, где такого отрицательного воздейст-

вия не наблюдалось; и к третьей группе - где антропогенное воздействие на рост деревьев сказывалось положительным образом (гидромелиорация). В полевой стадии работы измерены диаметры всех деревьев на высоте груди и при помощи приростного бурава взяты образцы их древесины. Измерением ширины годичных колец этих образцов получены временные ряды радиального прироста всех обследованных деревьев. Между временными рядами значений радиального прироста деревьев, относящихся к одной пробной площади, составлялась матрица коэффициентов парной корреляции. На основании ее данных строились корреляционные плеяды радиального прироста деревьев, произрастающих на территории каждой из пробных площадей.

В результате этого все деревья одного насаждения образуют одну корреляционную плеяду. Количество деревьев, входящих в нее, возрастает при снижении того уровня корреляции, на котором строится плеяда. Таким образом, в каждой из десяти построенных корреляционных плеяд выделались их "центры", в которые входили деревья с тесной корреляцией временных трендов радиального прироста. Одной из основных обуславливающих наблюдаемую здесь тесную корреляцию радиального прироста являлось одинаковое для всех деревьев насаждения воздействие комплекса экологических факторов. Корреляция трендов радиального прироста деревьев, образующих "периферию" каждой плеяды, с "центральными" деревьями этой плеяды, а также между собой, значительно ниже, чем между "центральными" деревьями. Деревья, образующие "периферию" корреляционных плеяд, оказались в значительно меньшей мере подверженными флюктуациям среды, чем "центральные" деревья. Об этом свидетельствует неоднородность трендов радиального прироста деревьев составляющих "периферию" каждой корреляционной плеяды. Такую группу деревьев мы называли неоднородной группой (НГ) в противоположность относительно однородной группе деревьев, образующих "центры" плеяд (ОГ).

Сравнение динамики радиального прироста деревьев ОГ и НГ обследованных насаждений показало, что в обеих группах она значительно различается. Динамика средних арифметических

значений радиального прироста деревьев ОГ и НГ, не подверженного антропогенному воздействию насаждения сосны Тукумского леспромхоза, показана на рис. 1. Радиальный прирост деревьев НГ этого насаждения с повышением возраста деревьев становится больше, чем этот же показатель деревьев ОГ.

Схожим образом изменяются средние арифметические значения радиального прироста деревьев ОГ и НГ в насаждении сосны, подверженной эмиссиям 2-ой Рижской ТЭЦ (рис. 2). Радиальный прирост деревьев ОГ в результате отрицательного воздействия эмиссий снижается резко. У произрастающих в таких же условиях деревьев НГ этот показатель после некоторого снижения в 40-60 летнем возрасте деревьев к 70 годам снова возрастает и становится значительно большим, чем у деревьев ОГ. Во всех остальных обследованных нами насаждениях сосны, лиственницы и ели, которые не подвергались воздействию антропогенных факторов или находились под отрицательным воздействием таковых, характер изменения радиального прироста деревьев ОГ и НГ существенно не отличался от показанного на рис. 1 и 2.

Значения радиального прироста ОГ и НГ сосны, показанные на рис. 3, изменяются противоположным образом, в отличие от остальных насаждений. Это обусловлено тем, что до 83-летнего возраста это насаждение росло на избыточно увлажненной почве. После проведения гидромелиорации условия произрастания здесь существенно улучшились, и у деревьев ОГ резко повысился радиальный прирост. Деревья НГ тоже положительно реагируют на последствия гидромелиорации, но интенсивность их реакции существенно слабее. Так, в восьмидесятилетнем возрасте деревьев этого насаждения, до проведения осушительных мероприятий, радиальный прирост деревьев ОГ и НГ существенно не отличается ($\alpha \approx 0,01$). После введения в строй гидромелиоративных каналов (время начала их действия на рис. 3 обозначено стрелкой) радиальный прирост деревьев ОГ в ответ на улучшение родных условий места произрастания резко увеличивается. Что же касается деревьев НГ, то их прирост как до, так и после осушительных мероприятий остается примерно на одном уровне.

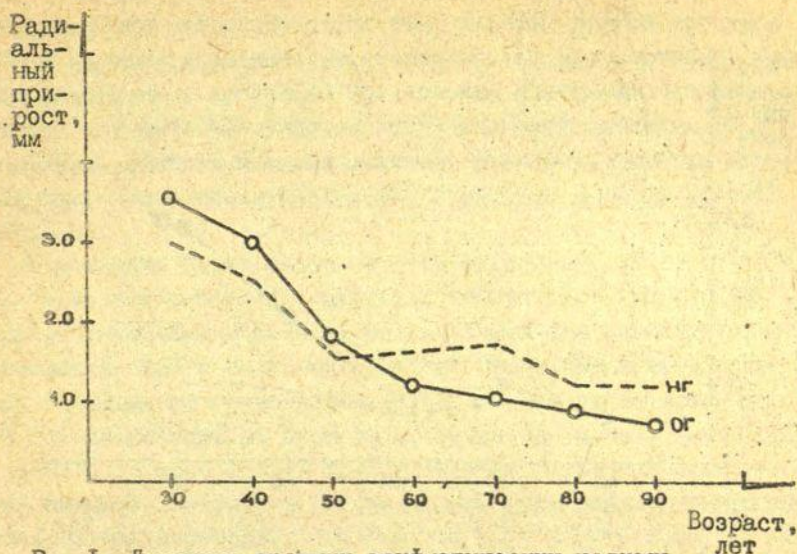


Рис. 1. Динамика средних арифметических радиального прироста ОГ и НГ сосны Тукумского леспромхоза.

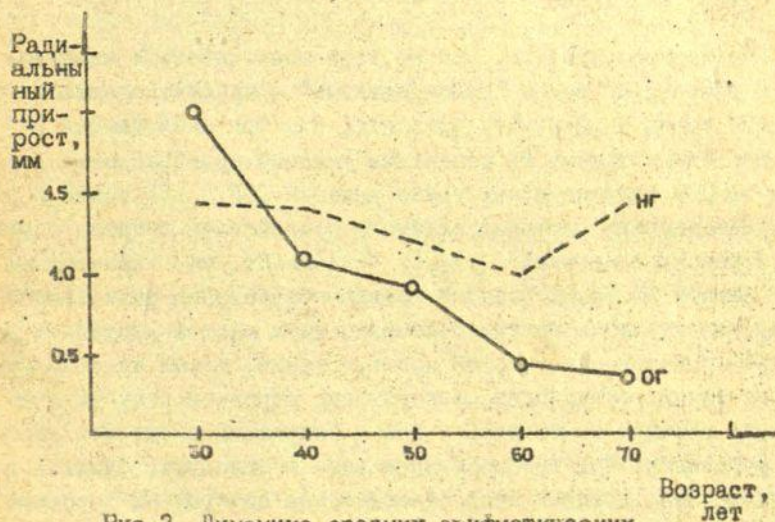


Рис. 2. Динамика средних арифметических радиального прироста ОГ и НГ сосны, подверженной эмиссиям 2-ой Рижской ТЭЦ.

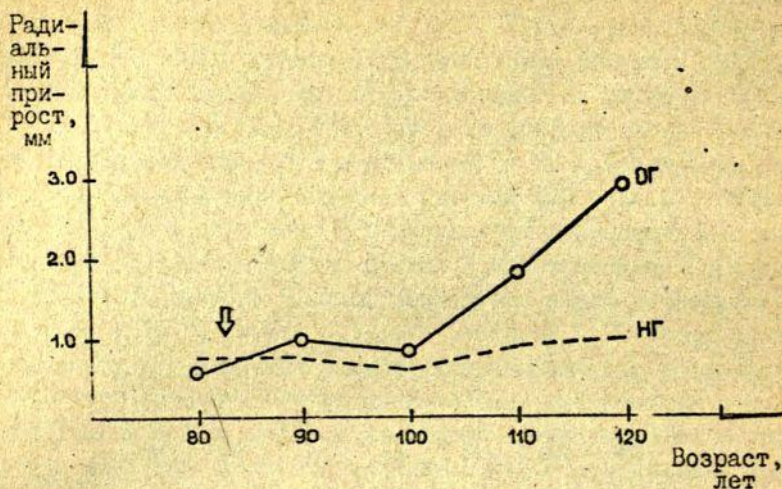


Рис. 3. Динамика средних арифметических радиального прироста ОГ и НГ сосны, растущей на мелиорированной территории.

Необходимо отметить, что во всех обследованных насаждениях деревья НГ более "консервативно" сохраняют предшествующий тренд радиального прироста, чем это наблюдается у подверженных такому же изменению условий произрастания деревьев ОГ. Наличие обеих групп реакции (ОГ и НГ) также и в тех насаждениях, которые видимого воздействия антропогенных факторов не испытывают (рис. I), показывает, что характерные для каждой из групп реакции тренды образования радиального прироста являются приспособлениями двух частей популяции деревьев к изменению условий произрастания, двумя адаптивными стратегиями роста. Одна совокупность деревьев популяции по тренду реакции относительно более сопряжена с экологическими условиями. При произрастании вида в условиях, близких к оптимальным, деревья этой относительно однородной по своей реакции группы (ОГ) лучше используют факторы среды и от-

личаются большей продуктивностью. Деревья другой совокупности по тренду реакции неоднородны (НГ) и существенно менее сопряжены с временной траекторией изменения экологических факторов. Уступая по продуктивности деревьям ОГ в условиях, близких к экологическому оптимуму, деревья НГ получают явное преимущество при ухудшении условий произрастания.

В условиях отрицательного воздействия антропогенных факторов на насаждение НГ является, по существу, группой антропоотолерантных деревьев, не снижающих или незначительно снижающих свой радиальный прирост. Применяемый нами подход к выделению групп деревьев со сходным типом временного тренда реакции на внешние воздействия может, таким образом, быть использован при решении актуальной практической задачи - выделении из насаждения потенциально антропоотолерантных деревьев.

В. А. Балодис

ЛГУ им. П. Стучки (Рига)

ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ СИНХРОННОСТИ
КРИВЫХ В ДЕНДРОЭКОЛОГИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЯХ

"С первого же дня рождения живое дерево является очевидцем многочисленных явлений и той среды, где оно произрастает. Годичные кольца — это память природы, в которой хранятся с точностью до одного года оценки разнообразных климатических условий прошлого — осадки, температура воздуха, влажность почв, солнечная активность и даже удельная радиоактивность земной атмосферы" [3:5].

Возможность извлечения с высокой точностью датировки разносторонней информации о событиях в прошлом обусловило в последние десятилетия заметное увеличение объема дендроиндикационных исследований. Поэтому актуальными являются работы, направленные на расширение области применения электронно-вычислительной техники в анализе годичных колец древесины. В частности, идет поиск путей алгоритмизации точной датировки годичных колец — одного из наиболее трудоемких и отчасти субъективных звеньев дендроиндикационных исследований. На нынешнем этапе разработки этого направления ЭВМ, как правило, используются для оценки степени синхронности сравниваемых рядов годичных колец.

Определенный опыт оценки синхронности кривых накоплен в дендрохронологических исследованиях. Здесь в качестве критериев синхронности чаще всего используют коэффициент синхронности (K_c) [6] и коэффициент корреляции (r) [10].

В настоящей работе обсуждается возможность применения этих критериев в дендрозоологических исследованиях. Подобная переоценка критериев необходима по той причине, что временные ряды, которые изучаются в дендрозоологии, сложнее дендрохронологических рядов.

Модельным объектом настоящего исследования послужили деревья сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), засохшие в результате рекреационного вытаптывания в курортном городе Юмала (6 спилов) или же при естественном изреживании лесонасаждений (Аматское лесничество Цесисского леспромхоза (5 спилов). Спилы были взяты на высоте 1,3 м от корневой шейки. На тщательно отполированных спилах ширину каждого годичного кольца измеряли по 8 направлениям (север, северо-восток, восток и т.д.). Точность измерений - $\pm 0,02$ мм. Биометрическая обработка эмпирического материала проводилась на ЭВМ типа ДЖИ-400.

Пригодность показателей K_c и α оценивали сравнением рядов ширины годичных колец, полученных при измерении по различным сторонам света одних и тех же спилов. Это позволило точно контролировать синхронность кривых, так как исключалась возможность десинхронизации в результате выпадения отдельных годичных колец. При оценке критериев K_c и α сравнивали их величины для: а) синхронных кривых и б) намеренно десинхронизованных.

На промеренных спилах по всем направлениям измерения прослеживается характерный ход кривой зависимости ширины (z) годичных колец от этапов усыхания - относительно высокие значения z при "нормальном" росте, падение ширины годичных колец при переходе к усыханию и минимальные значения величины z в периоде усыхания деревьев (рис. I). Спилы отличаются друг от друга по степени выраженности и продолжительности перечисленных этапов усыхания. Подобные же отличия иногда наблюдаются и между отдельными направлениями на одних и тех же спилах.

Чтобы проверить пригодность показателя K_c для оценки синхронности сравниваемых кривых, мы подсчитали его величины для упомянутых трех этапов усыхания. Расчеты проводились для синхронных кривых, а также для кривых, которые были десинхронизованы путем их сдвига на один год относительно друг другу. В таблице I представлены средние для изученных деревьев результаты расчетов.

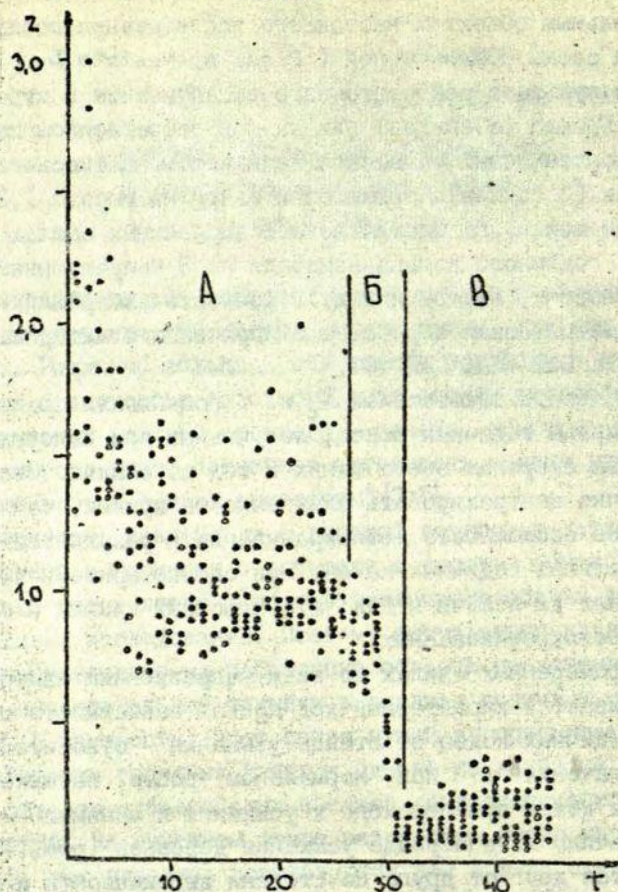


Рис. I. Зависимость ширины годовых колец от этапов усыхания сосны обыкновенной.

По оси абсцисс - порядковый номер годовичного кольца от центра ствола; по оси ординат - ширина годовичных колец в мм.

А - этап "нормального" роста дерева;

Б - этап перехода к усыханию;

В - этап усыхания.

Для каждого кольца на рисунке представлены измерения по 8 направлениям.

Таблица I

Величины коэффициента синхронности ($K_c \pm \delta_p$)
на разных этапах усыхания деревьев сосны

Положение кривых	Этапы усыхания деревьев		
	"нормальный" рост	переход к усыханию	рост перед усыханием
синхронное	$0,70 \pm 0,02$	$0,87 \pm 0,03$	$0,62 \pm 0,03$
несинхронное	$0,48 \pm 0,02$	$0,67 \pm 0,04$	$0,59 \pm 0,03$

Согласно формулировке коэффициента синхронности [8], величина K_c достоверно больше 0,5 в случае сравнения синхронных кривых, а для несинхронных рядов $K_c \approx 0,5$. По таблице I видно, что только при "нормальном", не подавленном внешними неблагоприятными условиями росте деревьев, величина K_c позволяет судить о синхронности кривых годовичных колец. Для этапа перехода деревьев к усыханию величина K_c достоверно (уровень существенности $\alpha = 0,05$) больше 0,5 как в случае синхронных, так и несинхронных кривых. Этот исход очевиден, если учесть, что для данного этапа характерна четкая тенденция последовательного уменьшения ширины годовичных колец, вызванная влиянием неблагоприятных внешних условий. Здесь выраженный тренд превалирует над ежегодными колебаниями прироста деревьев и не позволяет воспользоваться показателем K_c .

Менее очевидна несущественность отличия обеих величин K_c для последнего этапа усыхания. На этом этапе наиболее подавленного роста нет явно выраженного тренда. "Нелояльное поведение" критерия K_c в данном случае можно объяснить двумя причинами. Во-первых, необходимо иметь в виду, что коэффициент синхронности — показатель непараметрический и учитывает лишь направленность изменений ширины годовичных колец, независимо от их величины. При малых приростах древесины на этом этапе усыхания увеличивается вероятность

случайных отличий по направлению изменения ширины годичных колец между сравниваемыми кривыми. Во-вторых, можно допустить, что при подавленном росте на этом этапе снижается уровень чувствительности ответной реакции на воздействие флюктуирующих внешних факторов среды. Подобное предположение высказал Дугласс [7] относительно роста стареющих деревьев.

Использование линейного коэффициента корреляции для анализа рассмотренных кривых неправомерно. Известно, что коэффициент корреляции применим в качестве критерия только при соблюдении некоторых довольно жестких ограничений. Во-первых, сравниваемые выборки должны, хотя бы приблизительно, следовать двумерному нормальному распределению. В противном случае статистическая значимость полученных результатов остается весьма сомнительной [2]. Распределение данных, получаемых при изучении прироста древесины в нашем случае, существенно отличается от нормального (рис. 2). Во-вторых, оценку корреляции при помощи показателя r можно проводить только в случае, когда у исследуемых временных рядов нет тенденции [5]. В дендрозокологических рядах же тенденция неизбежна, так как именно по направлению и выраженности тренда судят о воздействии изучаемого фактора на прирост древесины.

Таким образом, в дендрозокологических исследованиях, в отличие от дендрохронологических [10], оценку синхронности нельзя проводить путем сравнения временных рядов абсолютных значений ширины годичных колец. Значит, до применения показателя K_c или r для оценки синхронности с кривых прироста древесины должна быть удалена тенденция так, чтобы остаточные данные образовали последовательность независимых величин. Для этого в первую очередь необходима адекватная методика построения базисных кривых.

В качестве базисных кривых, пожалуй, наиболее часто используют параболы, получаемые методом наименьших квадратов [9]. Мы провели регрессионный анализ наших эмпирических данных с целью проверки пригодности этого полиномиального

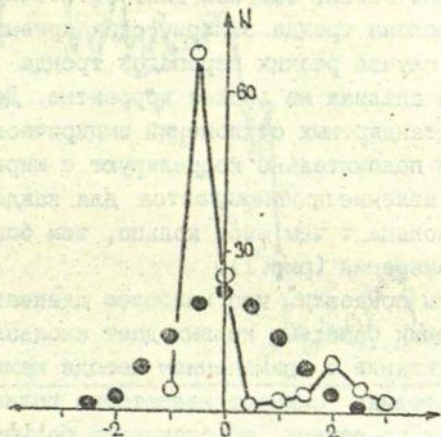


Рис. 2. Пример существенных отличий между эмпирическим (○) распределением ширины годовых колец и соответствующим нормальным (●) распределением. По оси абсцисс - нормированные отклонения от средней; по оси ординат - количество годовых колец по классам распределения. Критерий Колмогорова-Смирнова $\lambda = 2,52 > \lambda_{0,05} = 1,36$; критерий $\chi^2 = 157,4 > \chi^2_{0,05; 4} = 9,5$.

подхода для построения базисных кривых в дендрозкологических исследованиях. Для каждой эмпирической кривой методом наименьших квадратов были вычислены теоретические полиномиальные кривые до многочленов шестой степени включительно. Формально, по величине регрессионной дисперсии [4], эмпирические кривые достаточно хорошо описываются многочленами третьей степени. Однако полиномиальные теоретические кривые недостаточно гибки, так как дают остаточную тенденцию в участках перелома тренда эмпирических кривых (рис.3). Кроме того, в случае резких перепадов тренда применение регрессионного анализа не вполне корректно. Дело в том, что величины стандартных отклонений эмпирических данных непостоянные и положительно коррелируют с шириной годовичных колец. Это же явление прослеживается для каждого отдельного годовичного кольца : чем шире кольцо, тем больше дисперсия результатов измерений (рис.1).

Наши расчеты показали, что наиболее адекватные результаты при вычислении базисных кривых дает скользящее полиномиальное сглаживание с применением метода наименьших квадратов. Эта методика снимает недостатки полиномиального тренда, так как, во-первых, обеспечивает большую гибкость теоретических кривых и, во-вторых, менее зависит от изменения во времени стандартных отклонений эмпирических данных [1]. Наиболее хорошие результаты дает скользящее сглаживание по пятилетиям с применением полиномов третьей степени. Получаемые по этой методике остаточные данные - отклонения эмпирических величин Z от теоретических (\hat{Z}), имеют распределение, близкое к нормальному, с математическим ожиданием, равным 0. Исключается также тенденция данных. Следовательно, по остаточным кривым правомерна оценка синхронности флюктуаций не только при помощи показателя K_c , но и при помощи коэффициента корреляции. Результаты расчетов (рис.4) показывают, что показатели K_c и r при применении описанной методики позволяют оценить степень синхронности сравниваемых временных рядов - для синхронных кривых коэффициент синхронности достоверно больше величины K_c , по-

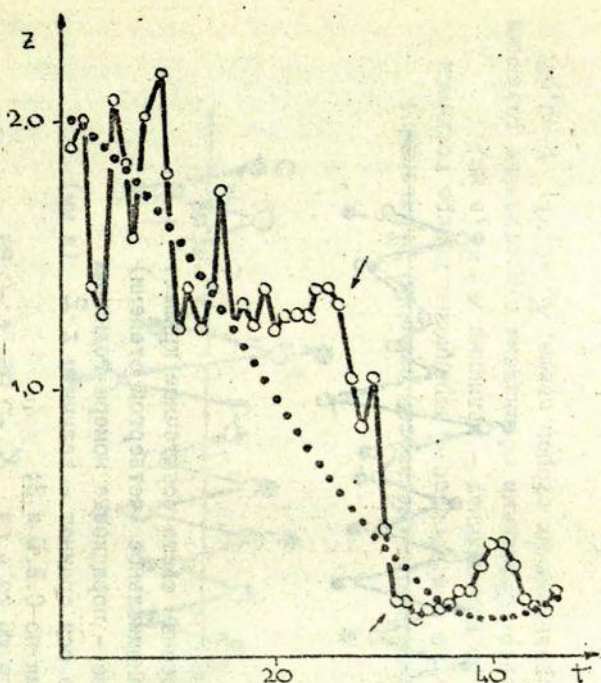


Рис.3. Пример недостаточной гибкости теоретических полиномиальных кривых.

По оси абсцисс - номер годовичных колец от центра ствола; по оси ординат - ширина годовичных колец в мм. \circ - эмпирические данные; \bullet - теоретическая кривая:

$$\hat{z} = 2,048 - 0,023t - 0,002t^2 + 0,0004t^3.$$

Стрелками показаны переломные точки эмпирического тренда.

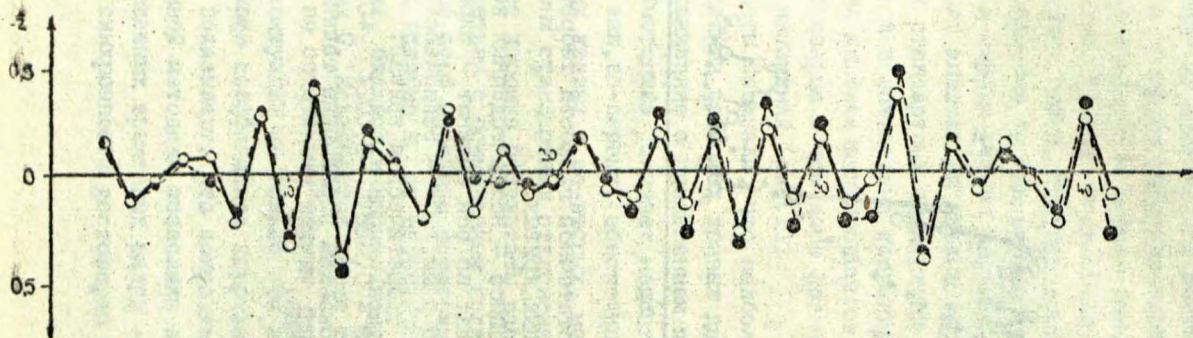


Рис. 4. Усредненные по четырем сторонам света остаточные кривые. Скользящее 5-точечное полиномиальное (четвертой степени) сглаживание. По оси абсцисс - порядковые номера годовичных колец от центра ствола; по оси ординат - величины $z - \bar{z}$ (в мм)

o- - - - - результаты усреднения по СВ, Ю и З;
 ●- - - - - усреднение по СВ, ЮВ, ЮЗ и СЗ. $K_c = 0,95$; $\tau = 0,89$.

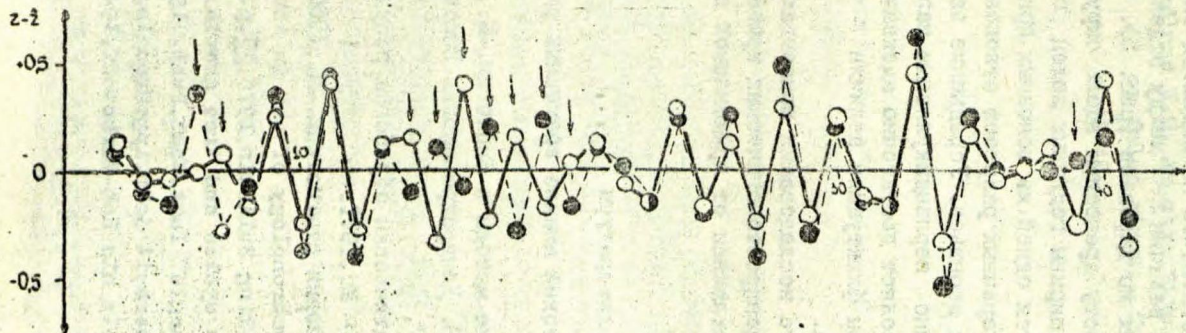


Рис. 5. Остаточные кривые полиномиального (четвертой степени) скользящего 5-точечного сглаживания. По оси абсцисс. — порядковые номера годовичных колец от центра ствола; по оси ординат — величины $z - \hat{z}$ (в мм).
 о — Юг; ● — Север. Стрелками обозначены существенные различия по величине $z - \hat{z}$ для сравниваемых сторон света. $K_c = 0,71$; $\tau = 0,67$.

лучаемой при сравнении десинхронизованных кривых. То же для всех образцов характерно и в отношении коэффициента корреляции. Необходимо отметить, что наблюдаются определенные отличия по флюктуации величин $x - \bar{x}$ между отдельными временными рядами одних и тех же деревьев (рис. 5). Это результат различий по приросту древесины вдоль окружности ствола. Подобные отличия ширины годовичных колец по различным сторонам света являются одной из основных причин возникновения асимметрии поперечных разрезов стволов, весьма характерной для усыхающих деревьев. Усреднение величин $x - \bar{x}$ по четырем взаимно перпендикулярным направлениям измерения (рис. 4) позволяет достаточно адекватно представить характер и размеры флюктуации величин $x - \bar{x}$ для каждого отдельного дерева.

Итак, результаты нашего исследования показывают, что при оценке синхронности дендрозокологических кривых необходима особая методика, отличная от примененной в дендроклиматологии.

Список литературы

1. Андерсон Т. Статистический анализ временных рядов. - М., 1976.
2. Бейли Н. Статистические методы в биологии. - М., 1963.
3. Коляца Б. А., Черных Н. Б. Дендрохронология Восточной Европы. - М., 1977.
4. Гумашинский Л. З. Математическая обработка результатов эксперимента. - М., 1971.
5. Мх Дз. Э., Кендалл М. Теория статистики. - М., 1960.
6. Bartholin T. H. Dendrochronology of oak in southern Sweden. - Tree-Ring Bulletin, 1975, 35, p. 25-29.
7. Douglass A. E. Climatic cycles and tree growth. 2. Washington, Carnegie Inst. Wash. Publ., 1928, p.
8. Huber B. Uber die Sicherheit jahr ringschronologischer Datierung. - Holz als Roh-Werkstoff, 1943, 6, S. 263-268.

9. Warren W.G. On removing the growth trend from dendro-chronological data.-Tree-Ring Bulletin,1980,
40, p.35-44.
10. Wendland W.M. An objective method to identify missing or false rings.- Tree-Ring Bulletin,1975,35,
p.41-48.

Г.Е.Поспелова, И.Я.Лиєпа, А.Я.Скудра
ЛГУ им. П.Стучки (Рига),
П.П.Залитис
НПО Силава (Саласпилс)

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ РЕАКЦИИ
СОСНОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ НА ВЛИЯНИЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОРИДОРОВ

Прорубка технологических коридоров разреживает древесной, и естественно, что такое вмешательство в жизнь фитоценоза вызывает значительную реакцию определяющего его компонента - древесной. К тому же обычно одновременно с прокладкой технологических коридоров производится соответствующая рубка ухода. В зависимости от расстояния между коридорами (L) и локальных условий, создавшихся в результате рубок ухода, различные деревья реагируют по-разному на это лесохозяйственное мероприятие. Реакция деревьев может быть как положительной, так и отрицательной, в сумме она отражается на продуктивности лесонасаждения. При прокладке технологических коридоров полностью удаляются деревья, прежде растущие в этих коридорах, что усиливает изменение продуктивности насаждения. В научной литературе проблематика реакции древесной на прорубку технологических коридоров с одновременным проведением рубок ухода на пасаеках изучена недостаточно. Нерешенные вопросы проблематики устройства организованного насаждения были сформулированы в статье И.Я.Лиєпа, А.Я.Дрике [1].

Настоящая работа является продолжением исследований, начатых в 1977 году. Целью работы было определение реакции сосновых древесностоев на упомянутые виды воздействия.

Модельными объектами были выбраны насаждения вблизи населенного пункта Палсмане (пробные площади I-8) и стационара "Весетниски" научно-производственного объединения "Силава" (пробные площади 9-18) (в сборе материала принимал

участие Н.Л.Поспелов). Данные о типах лесорастительных условий, времени прорубки коридоров и рубки ухода, возрасте и составе насаждений, размере пробных площадей приведены в таблице I. В насаждениях вблизи Палсмане коридоры были прорублены в 1964-1965 годах, т.е. за 13 лет до оценки реакции древостоев. Ширина коридоров 2-2,5 м, расстояние между ними от 24 до 50 м. В насаждениях стационара "Весетниекс" прорубка коридоров проводилась в 1972 году, следовательно, период оценки реакции древостоя 6 лет. Ширина коридоров 3,5 м, расстояние между ними - 16-17,5 м. Период ретроспекции 10 лет. Одновременно с прорубкой коридоров в зависимости от возраста древостоя на пасеках проводилось прожевание или проходная рубка. Трелевка древесины по коридорам осуществлялась тракторами на всех пробных площадях. Каждая из них охватывала пасеку и прилегающие половины коридора. Длина пробных площадей по направлению коридоров от 30 до 100 м в зависимости от расстояния между коридорами и конкретных особенностей насаждений. Каждая пробная площадь делилась на друметровые полосы параллельно коридорам. В каждой полосе производился сплошной пересчет деревьев и приростным буровом Пресслера у всех растущих деревьев брались образцы древесины для измерения ширины годичных колец. Для конструирования кривой высот на каждой пробной площади измерялась высота 10-15 деревьев. В коридорах и между ними измерялись диаметры всех пней (d_c), а между коридорами - диаметр на высоте груди ($d_{г}$) и высоте пня (d_c) у 15-20 деревьев. Эти измерения производились для конкретизации выражения $d_{г} = f(d_c)$, что необходимо для определения запаса вырубленной совокупности деревьев. Для контроля образцы древесины брались у 30 деревьев, произрастающих в идентичных для каждой пробной площади лесорастительных условиях, имеющих такой же возраст и класс бонитета. В соответствии с примененной методикой [2] была определена гомогенность контрольных участков и идентичность хода роста древостоя контроля и конкретной пробной площади.

Для каждой пробной площади и каждой двойной полосы

Таблица I

Характеристика пробных площадей

№ пробн. площади	Тип лесорастительных условий	Год рубки	Возраст насаждений	Состав насаждений	Размер пробной площади, га
1.	Брусничник	1965	50	10С+В	0,25
2.	Зеленомошник	1964	80	9Е1С+В	0,25
3.	Брусничник	1965	55	10С+Е	0,23
4.	Брусничник	1965	55	10С	0,19
5.	Брусничник	1965	55	10С	0,21
6.	Брусничник	1965	55	10С	0,25
7.	Брусничник	1965	55	10С	0,24
8.	Брусничник сфагновый	1965	55	10С	0,10
9.	Брусничник	1972	70	10С	0,17
10.	Брусничник	1972	70	10С	0,17
11.	Брусничник	1972	70	10С	0,16
12.	Брусничник	1972	60	10С	0,16
13.	Брусничник осушенный	1972	65	10С	0,16
14.	Брусничник осушенный	1972	65	10С	0,13
15.	Брусничник осушенный	1972	65	10С	0,13
16.	Брусничник	1973	70	10С	0,14
17.	Брусничник	1973	70	10С	0,13
18.	Брусничник	1973	70	10С	0,14
19.	Черничник	1965	50	5С5Б	0,30
20.	Брусничник	1968	70	5С5Е	0,14
21.	Черничник	1968	70	7ЕЗС	0,11
22.	Зеленомошник	1968	70	7ЕЗС	0,14

(в последней объединены две прилегающие друг к другу полосы, например, первая и вторая, вторая и третья, третья и четвертая и т.д.) вычислены годовичные значения показателей реакции древостоя: текущий дополнительный прирост по запасу (RAC) и дополнительный кумулятивный прирост по запасу (RAI). Кроме того, были определены следующие таксационные показатели каждой двойной полосы и пробной площади в пересчете на га: число деревьев (M), площадь поперечного сечения в $m^2/га$ (G), средний диаметр в см (D), средняя высота в м (H), запас наличного древостоя в $m^3/га$ (M), текущий прирост по диаметру в см (Z_D), текущий прирост по высоте в м (Z_H), текущий прирост запаса наличного древостоя в $m^3/га$ (Z_M) и интенсивность прироста в % (P_V) перед проведением мероприятия и в конце исследуемого периода.

Структура и динамика реакции деревьев представлены на рис. 1а, 1б, 2а, 2б. Хорошо видны 2 типа реакции древостоя на прорубку коридоров с одновременной рубкой ухода. К первому типу (рис. 1а, 1б) относится реакция насаждений пробных площадей I, 9-13. На этих площадях росли разновозрастные насаждения сосны, иногда с примесью березы в I ярусе (I пробная площадь), тип лесорастительных условий: брусничник, брусничник осушенный. Для этого типа реакции древостоев характерен постоянный положительный кумулятивный дополнительный прирост (рис. 1а). Текущий дополнительный прирост (рис. 1б) у этих древостоев незначительный и всегда положительный. Для второго типа реакции древостоев положительный кумулятивный дополнительный прирост (рис. 2а) характерен только в течение первых 3-4 лет, затем он принимает отрицательные значения. Текущий дополнительный прирост (рис. 2б) наибольшего значения достигает в первый год, а наименьший - на седьмой год после проведенного мероприятия. На этих пробных площадях росли разновозрастные насаждения сосны (55 лет) с примесью ели в I ярусе (3 пробная площадь) или хорошо развитым вторым ярусом ели (4-8 пробные площади).

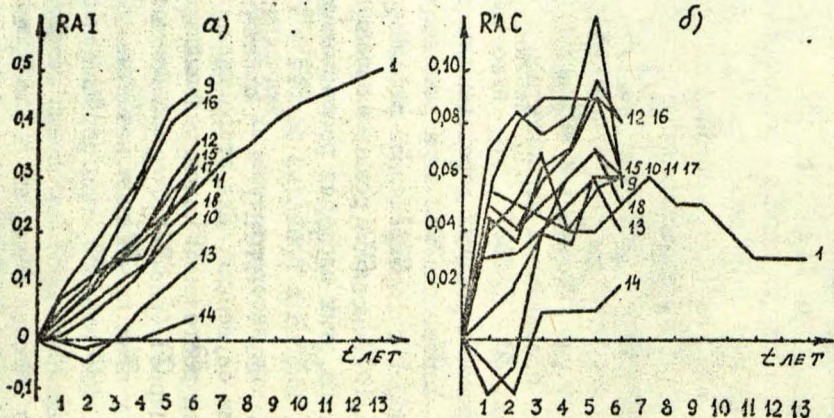


Рис. I. Структура и динамика реакции деревьев I типа: а) RAI - кумулятивный дополнительный прирост; б) RAC - текущий дополнительный прирост; 1, 9, 10 ... - номера пробных площадей.

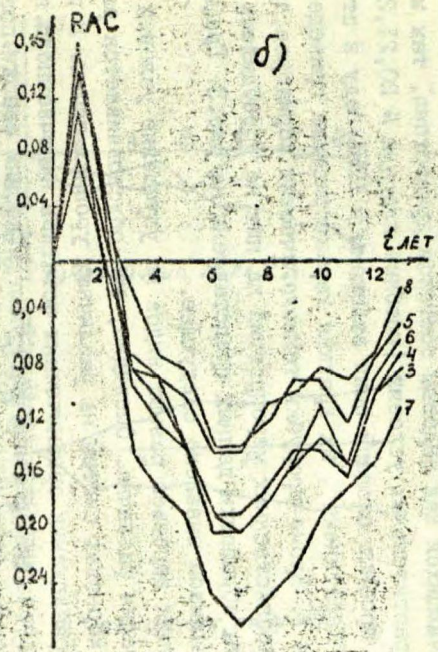
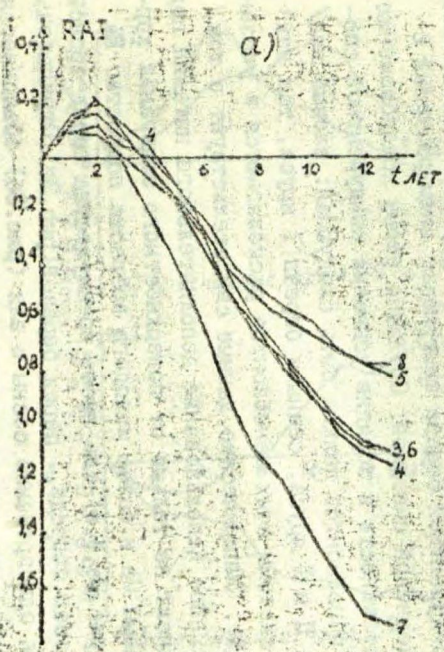


Рис. 2. Структура и динамика реакции деревьев II типа.
 Обозначения как на рис. 1.

Поэтому возникла гипотеза о том, что второй тип реакции древостоя обусловлен межвидовыми отношениями деревьев, так как улучшение условий вызывает обострение конкурентной борьбы ценобионтов. Для проверки гипотезы были заложены четыре пробные площади в специально подобранных насаждениях, отличающихся как видовым составом древостоев, так и типом лесорастительных условий (пробные площади № 20, 21, 22, 23). Эти пробные площади были заложены в 1981 году в стационаре "Весетниеки", их краткая характеристика приведена в таблице I. Кроме прорубки технологических коридоров, других лесохозяйственных мероприятий на них не проводилось. Результаты обработки данных представлены на рис. 3. Графическим анализом выявлено следующее.

1. Реакция деревьев разных видов на улучшение условий произрастания различна. Очевидно, это обуславливается размещением корневых систем на различных уровнях почвы. В результате разложения органических остатков напочвенного покрова питательные элементы поступают к корням сверху, поэтому в конкурентной борьбе выигрывают виды растений с верхней корневой системой. Согласно этому предположению последовательность в порядке убывания конкурентной способности ценобионтов должна быть следующая: еловый подрост, ели II и I яруса, сосны и березы I яруса, так как корневые системы этих ценобионтов располагаются в указанном порядке. Эмпирические данные свидетельствуют о том, что интенсивное использование дополнительного питания подростом зависит не только от поверхностного залегания корневой системы но и более молодого возраста подростка. На графиках (рис. 3а, б, в) ель имеет преимущества перед сосной, а сосна, в свою очередь, — перед березой (рис. 3г). Отрицательная реакция одновременно сосны и ели (рис. 3б) объясняется наличием сильно развитого елового подростка, в отдельных частях насаждения переходящего во II ярус древостоя.

2. Реакция деревьев зависит от условий местопроизрастания. С улучшением экологических условий преимущество ели возрастает, о чем свидетельствует постепенное расширение зоны между кривыми, отражающими динамику дополнительного

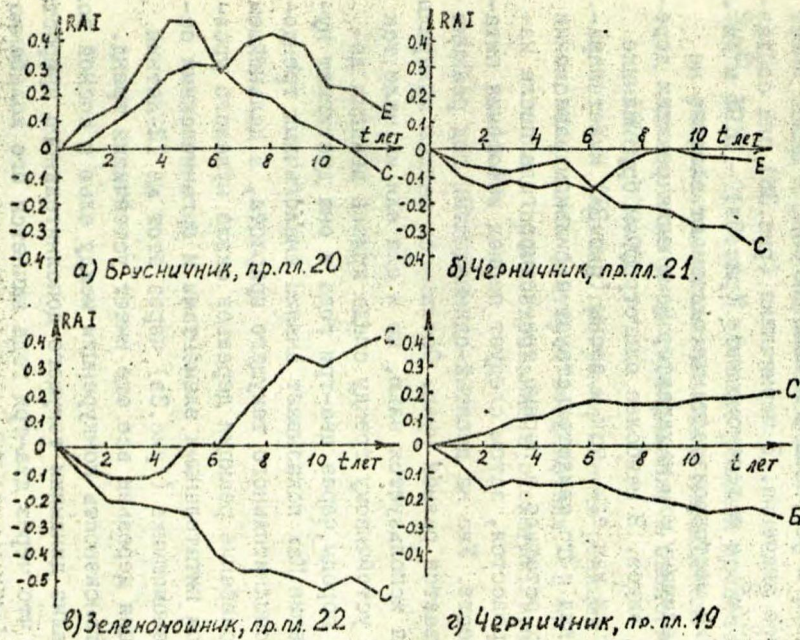


Рис. 3. Структура и динамика реакции деревьев в различных типах лесорастительных условий. RAI - кумулятивный дополнительный прирост; Е - ель; С - сосна; Б - береза.

кумулятивного прироста ($R_{\Delta T}$) в полосе наиболее активной реакции деревьев, т.е. в ближайшей к коридору удвоенной полосе. В брусничнике (рис.3а) она имеет наименьшее значение $-0,23 \text{ м}^3/\text{м}^2$ на 12 год после вырубki коридоров. Из-за неблагоприятных условий для произрастания ели реакция сосны хотя и уступает в отношении ели, в целом имеет положительное значение. В черничнике (рис.3б) она составляет $0,32 \text{ м}^3/\text{м}^2$, а в зеленомошнике (рис.3в) $-0,95 \text{ м}^3/\text{м}^2$.

3. Условия местопроизрастания оказывают влияние не только на величину, но и на характер изменения реакции деревьев разных видов. В наиболее олиготрофном брусничнике кривая реакции как ели, так и сосны (рис.3а) имеет параболический вид. Это свидетельствует о сильном разложении органических остатков в первые три-четыре года после изреживания древостоя, затем следует период истощения питательных веществ. Уже на десятый-одиннадцатый год реакция сосны оказывается равной нулю. Оставшиеся запасы минерального питания используется елью, но и для ели их мало, так как судя по устойчивому тренду спада кривой реакции деревьев этой породы, через два-три года и она достигнет нулевого значения. Как показывает анализ аналогичных трендовых линий дополнительного текущего прироста, в дальнейшем ожидается колебание реакции деревьев около нулевого уровня. В богатом питательными элементами и органическими остатками зеленомошнике (рис.3в) через этот же 12-летний период реакция деревьев все еще имеет устойчивый тренд. При этом интенсивность конкуренции между елью и сосной возрастает. Анализ динамики текущего дополнительного прироста показывает, что через два-три года начнется его колебание вокруг нулевого уровня.

Наши исследования подтверждают гипотезу о том, что улучшение условий произрастания приводит к обострению межвидовых отношений. Поэтому целесообразно при проведении лесохозяйственных мероприятий на пасаках по возможности формировать чистые насаждения. Кроме того, в силу истощения внутренних резервов и прекращения образования дополнительного прироста древостоев в течение первых десяти лет после

прорубки технологических коридоров для дальнейшего увеличения продуктивности лесонасаждений необходимо проведение новых лесохозяйственных мероприятий.

Список литературы

1. Лиєпа И.Я., Дрике А.Я. Оценка реакции древостоя после устройства организованного насаждения. - В кн.: Моделирование и прогнозирование в экологии. Рига, 1978, с. 59-73.
2. Лиєпа И.Я. Единая программа оценки реакции древостоя на влияние факторов воздействия. - В кн.: Моделирование и прогнозирование в экологии. Рига, 1980, с. 44-67.

М. М. Балодис

Лесостроительное предприятие

Леспроект (Рига)

И. Я. Лиєпа, А. Я. Скудра,

И. Ф. Есперия

ЛГУ им. П. Стучки (Рига)

ОЦЕНКА РЕАКЦИИ ЛЕСОНАСАЖДЕНИЙ НА
ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ ГРУНТОВЫХ ВОД
ПРИ ОБРАЗОВАНИИ БОБРОВЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ

При изучении деятельности бобра сталкиваемся с весьма противоположными взглядами. С одной стороны, активное поведение бобра (выталкивание на берег и на плотины черного ила и гниющих растений, перемещение грунта и разных слоев воды, способствующее ее обогащению кислородом) многократно увеличивает способность самоочищения ручьев и малых рек. В результате этого значительно чище становится вода также в больших реках и в море. Такое положительное влияние бобра трудно переоценить особенно в наши дни, когда на строительство очистных сооружений отводятся огромные средства

[1]. С другой стороны, бытует мнение, что бобровые водохранилища приносят огромные убытки прямым затоплением лесных насаждений и сельскохозяйственных угодий. Однако отметим, что в основном затопляются малоценные низкобонитетные лиственные насаждения в низинных местах. Более того, этот ущерб нетрудно значительно уменьшить с помощью простых и дешевых сооружений, которые после их встройки в бобровые плотины, поддерживают уровень воды в водохранилищах на заранее определенной высоте. К тому же часть ущерба в значительной степени компенсируется увеличением древесного прироста высокобонитетных насаждений, произрастающих по берегам бобровых водохранилищ.

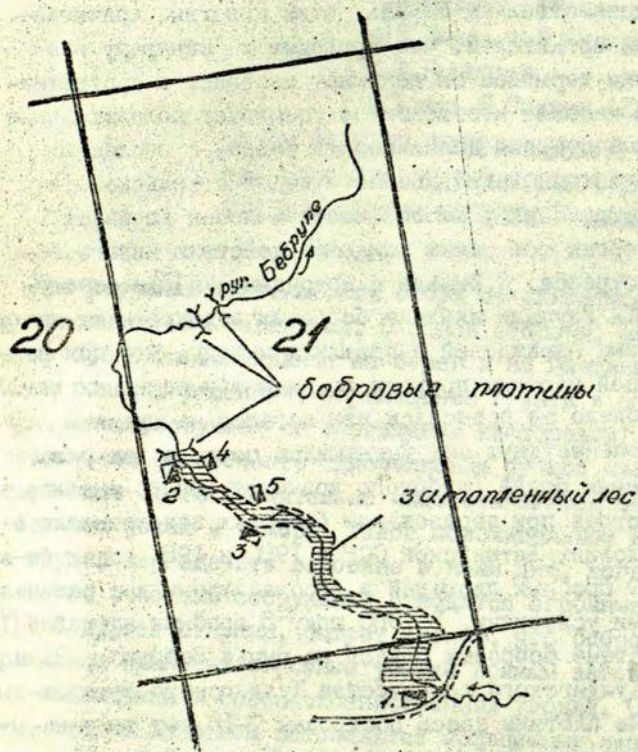
Проблемы, касающиеся влияния активной деятельности бобра на прирост прибрежных лесонасаждений и экономическая оценка его действий до сих пор мало изучены как в нашей стране, так и зарубежом. Ю. Одум [4] отмечает, что бобровые

пруды - очень полезные компоненты природных ландшафтов, но из-за того, что при этом иногда затопляются участки леса и сельскохозяйственных земель, этих животных причисляют к категории вредителей, что приводит к "синдрому плотины", под этим термином он понимает явление, в соответствии с которым человек необъективно оценивает положительные и отрицательные стороны деятельности бобра, к последним причисляя результаты непродуманного ведения сельского и лесного хозяйств. В силу этого часто человек взрывает плотины, подвергая тем самым ландшафт действию нового, более тяжелого стресса. С. Вильде с сотрудниками [5] в сороковых годах в США изучали влияние бобровых водохранилищ на прирост осинового насаждений и пришли к выводу, что при разрушении бобровой плотины прирост по диаметру осинового насаждений не только не повысился или остался на прежнем уровне, но в течение двух лет уменьшился почти в два раза.

Для проведения более глубокого количественного анализа реакции древостоев при образовании бобровых водохранилищ в конкретных условиях Латвийской ССР в 1980 и 1981 годах были заложены 10 пробных площадей в лесонасаждениях с разными эдафическими условиями. В 1980 году 5 пробных площадей заложено в системе бобровых прудов на ручье Бебрупс в 21 и 36 кварталах Куддигского лесничества Куддигского лесхоза^ж. Бобровые плотины здесь построены 7-10 лет тому назад. В последние годы наблюдалось перемещение бобров вверх по ручью и вновь построенные плотины вызвали определенное затопление лесонасаждений. Пробные площади закладывались в насаждениях, растущих на минеральных почвах по берегам ручья на склонах с крутизной 6°-15°. Тип лесорастительных условий - кисличник и зеленомошник с преобладающими древесными породами ель и береза (табл. I и рис. I). Возраст насаждений 45-65 лет.

Исследования 1981 года велись в 58, 59 и 70 кварталах

^ж Авторы выражают благодарность М. Я. Гринберг и А. А. Жейви-нице, принимавшими участие в сборе эмпирического материала.



М. 1:10000

36

Рис. 1. Схема размещения пробных площадей №№ 1-5 в Кудринском лесничестве, 1980 год.

Добельского лесничества Елгавского леспромхоза. Бобры заселяют равнину - условный водораздел между бассейнами рек Абава и Лиелупе; верховья которых соединяют старые мелиоративные каналы (рис.2). Пробные площади в этих местах в основном располагались на болотных почвах в осоково-тростниковом и папоротниково-осоковом типах лесорастительных условий. Преобладающие древесные породы - береза и ель возрастом 45-60 лет. Если в Кулдингском лесничестве насаждения росли на склонах, то в Добельском лесничестве - на низменности одного уровня с каналами и озером.

Все пробные площади закладывались по направлению ручья или канала и по нашей методике [2,3] были разделены на двухметровые полосы. В каждой полосе произведен сплошной пересчет деревьев, и у всех растущих деревьев приростным буром Пресслера взяты образцы древесины для измерения ширины годичных колец. Для конструирования кривой высот на каждой пробной площади измерена высота и диаметр 10-15 деревьев. Для дальнейших вычислений в насаждениях подобных условий произрастания и примерно одинакового видового состава, возраста и класса бонитета пробурены контрольные деревья каждой древесной породы. Далее обработка эмпирического материала велась по уже упомянутой методике [2], определялись показатели реакции древостоя на воздействие бобровых водохранилищ - кумулятивный дополнительный прирост (RAI) и текущий дополнительный прирост по запасу (RAC). Чтобы исключить влияние гетерогенности полноты древостоев, далее вместо этих показателей определялись их редуцированные значения, т.е. прирост в м³ на один м² поперечного сечения.

Визуально существенный ущерб лесным насаждениям под влиянием бобровых водохранилищ не обнаружен, что подтвердили и результаты количественной оценки.

Анализ редуцированных значений кумулятивного и текущего дополнительного приростов проведен отдельно для каждой пробной площади. Во всех случаях реакция древостоев на деятельность бобра положительна. Поэтому для отражения структуры и

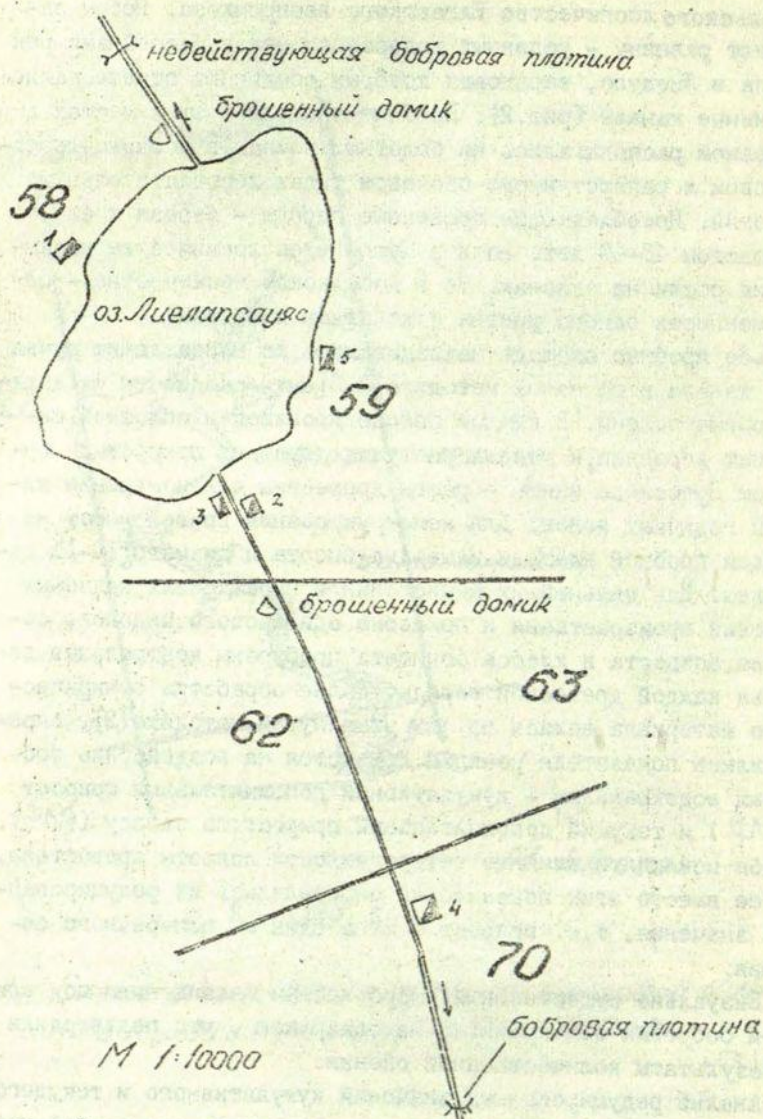


Рис. 2. Схема размещения пробных площадей №№ 1-5 в Добельском лесничестве, 1981 год.

динамики этой сходной реакции здесь приводятся данные всего лишь четырех пробных площадей, характеризующих разные древесные породы и различные условия местопроизрастания.

Таблица I
Характеристика пробных площадей

№ пробной площади	Место произрастания	Тип лесорастительных условий	Видовой состав	Крутизна на склонах в градусах	Возраст
1.	Кулдигское лесничество	кисличник	IOE	15	65
2.	- " -	кисличник	IOE	15	65
3.	- " -	зеленомошник	IOE	6	45
4.	- " -	кисличник-зеленомошник	6E4E	7	E-50 E-60
5.	- " -	кисличник	6E4E	18	B-60 E-55
1.	Добельское лесничество	зеленомошник	IOС	3	140
2.	- " -	осоково-тростниковый	IOB	0	50
3.	- " -	- " -	IOB	0	40
4.	- " -	папоротниково-осоковый	IOE	0	60
5.	- " -	- " -	IOС	0	75

На рис. 3 показано характерное изменение реакции еловых древостоев, произрастающих на суходолах. Линии RA I всех полос (0-10 м от воды) расположены над осью абсцисс, следовательно, деятельность бобра в указанной зоне способствует дополнительному образованию запаса ели. Очевидно, это вызвано как повышением уровня грунтовой воды, так и улучшением освещенности фотосинтезирующего аппарата елей в результате "вырубки" старых осин. Тот факт, что линии RA I всех полос не пересекаются между собой и их подъем отличается высокой стабильностью, свидетельствует о постоянном

положительном влиянии деятельности бобра в течение всего семилетнего периода (с 1973 по 1979 гг.).

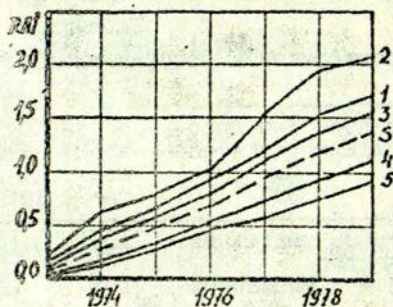


Рис.3. Изменение реакции ели на пробной площади № 2 Куддигского леспромхоза. На оси абсцисс - календарные годы с появления бобровых плотин, на оси ординат - RAI - кумулятивный дополнительный прирост, 1,2,...-линии соответствующих полос, δ - усредненная линия.

Характерная последовательность расположения линий RAI указывает на постоянное снижение бобрового эффекта с возрастанием расстояния от воды. Наибольшее влияние испытывают деревья второй полосы (2-4 м от воды), наименьшее - пятая полоса (8-10 м от воды). При этом на второй полосе положительный эффект за семилетний период составляет $2,1 \text{ м}^3/\text{м}^2$, на пятой полосе - $0,95 \text{ м}^3/\text{м}^2$, а в среднем на всей исследованной зоне - $1,3 \text{ м}^3/\text{м}^2$. По этим данным, зная таксационную характеристику, в частности сумму площадей сечений, и площадь древостоя, нетрудно подсчитать общий объем высококачественной крупномерной древесины, образовавшейся под влиянием деятельности бобра. Несомненно, сказанное относится также ко всем лесонасаждениям, произрастающим на суходолах вблизи от бобровых водохранилищ. Постоянные положительные значения кумулятивного дополнительного прироста пя-

той полосы данной пробной площади убедительно показывают, что влияние бобра охватывает зону гораздо более широкую, чем 10 м. В свою очередь, положительные значения RAC в 1973 г. (линии RAC не проходят через начальную точку осей координатной системы) свидетельствуют о том, что водохранилище было образовано до этого года, взятого нами за точку отсчета лишь на основе весьма приблизительных высказываний местных жителей.

Погодичная динамика реакции этого же древостоя представлена на рис. 4, в котором более рельефно отражается зависимость реакции от расстояния до воды.

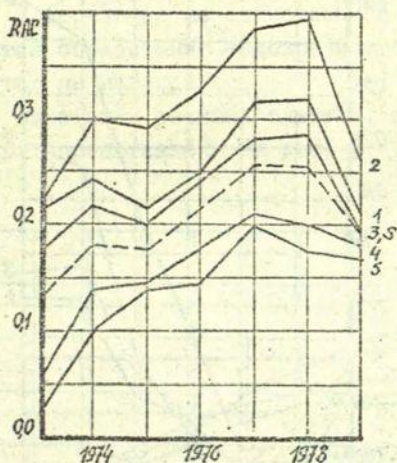


Рис. 4. Погодичная динамика реакции древостоя.

RAC - текущий дополнительный прирост.
Остальное - как на рис. 3.

Кроме того, нетрудно заметить, что эта реакция началась уже до 1973 г. и интенсивность ежегодного положительного эффекта постоянно возрастала вплоть до 1978 г. Уменьшение RAC в 1979 г. вызвано частичным разрушением нижней плотины и снижением уровня воды водохранилища, на берегу которого заложена данная пробная площадь. Обследование этой сис-

темы бобровых плотин в 1981 г. показало, что бобры больше не восстанавливали эту плотину и она продолжает разрушаться с соответствующим снижением уровня воды в водохранилище. Очевидно, уход бобров от этого места обусловлен истощением кормовых ресурсов. Отметим, что аналогичная реакция древостоя на разрушение плотины (уменьшение радиального прироста) описана в [5].

В сходных эдафических условиях на берегу этого же водохранилища образовались также березовые лесонасаждения. Реакция березняка (пятая пробная площадь) показана на рис. 5.

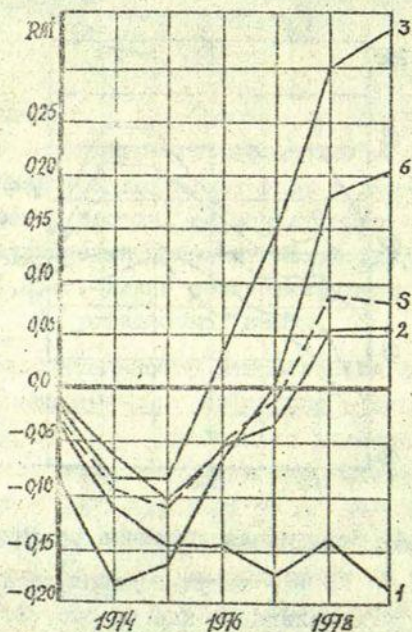


Рис. 5. Изменение реакции березы на пробной площади № 5. Обозначения как на рис. 3

Как по величине, так и по характеру она отличается от реакции ельника. В первые 2-3 года наблюдаются отрицательные значения RAI, что свидетельствует о периоде депрессии в жизни древостоя в первые годы после повышения уров-

ня воды. После этого периода адаптации деревьев следует крутое повышение RAI . Исключение составляет первая полоса. Это объясняется тем, что часть деревьев этой полосы находится непосредственно в воде. Пониженная реакция в 1979г. после разрушения плотины наблюдается также у березы. В этом году RAC достигает практически нулевых значений. По степени реакции березняк уступает ельнику. По всей вероятности, это объясняется как повышенной биологической чувствительностью ели, так и неодинаковой интенсивностью бобрового воздействия. Как уже отмечалось, реакция ельника обусловлена повышением уровня воды и улучшением условий освещения крон деревьев. В березняке же единственной причиной воздействия является образование водохранилища, так как изреживания древостоя не наблюдалось.

Особенности изменения реакции ельника, произрастающего на болотных почвах, представлены на рис. 6.

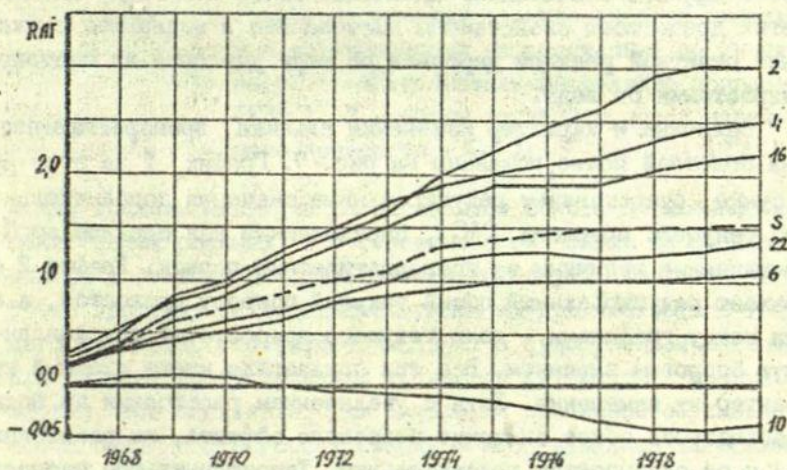


Рис. 6. Изменение реакции ельника, произрастающего на болотной почве (пробная площадь № 4, Добельское лесничество). Обозначения как на рис. 3.

Оказывается, даже в условиях достаточной почвенной влаги наблюдается положительная реакция ели в ответ на поддерживаемый бобром гидрологический режим. Стимулирующее влияние такого гидрологического режима на прирост запаса сомнений не вызывает. Линии RAI деревьев всех полос (за исключением лишь девятой полосы) положительны и характеризуются возрастающим трендом.

Теоретический и практический интерес представляет выявление как ширины зоны положительного бобрового воздействия на прилегающие древостой, так и характер изменения реакции деревьев в зависимости от расстояния до водохранилища. В условиях произрастания лесонасаждений на склонах с крутизной до 15° (Кулдигское лесничество) нами обследовалась полоса с общей шириной 10-12 м. Это было обусловлено пестротой растительности и наличием на берегах исследуемого водохранилища однородных лесонасаждений небольшой площади. Как показано на рис. 3-5, ширина зоны положительного бобрового эффекта значительно превышает 10-12 м. К тому же для этих древостоев свойственно постепенное и медленное снижение ответной реакции деревьев по мере удаления их местопроизрастания от воды.

Величина и характер изменения ельника, произрастающего на болотной почве, показаны на рис. 7. График 1 на этом рисунке представляет редуцированные значения дополнительного текущего прироста RAC , определенные как средние арифметические величины за тринадцатилетний период. График 2 отражает редуцированный общий текущий прирост древостоя, а зона между графиками - долю текущего прироста, не обусловленную бобровым влиянием. Все три показателя имеют сходный характер их изменения. Хотя с увеличением расстояния до воды наблюдается общее снижение бобрового эффекта, на расстоянии 44 м он оказывается положительным. Территориальное распределение реакции данного ельника отличается большой гетерогенностью. Выделяются два локальных минимума на расстоянии 20 и 36 м соответственно. В этих местах шириной 2-3 м реакция

деревьев оказывается отрицательной.

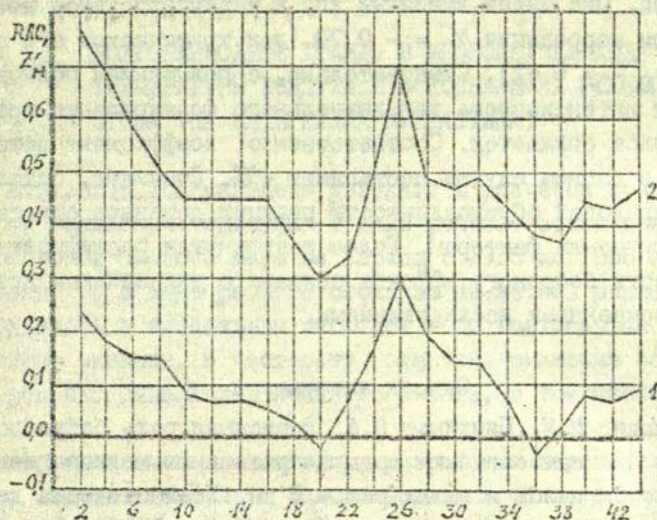


Рис. 7. Изменение реакции елника пробной площади № 4 в зависимости от расстояния до линии воды: 1 - дополнительный текущий прирост (RAC), 2 - общий текущий прирост наличного древостоя (Z_M).

Между точками минимума располагается полоса повышенной положительной реакции, а в середине этой полосы на расстоянии 26 м от воды находится точка максимума. Аналогичные точки экстремумов выделяются также на графике общего текущего прироста. Это свидетельствует о существенном изменении условий продуцирования древесной фитомассы в разных местах лесонасаждения. Для выявления причинной обусловленности особенностей обоих графиков исследовались зависимости редуцированных значений общего и дополнительного текущего приростов от разных таксационных показателей: суммы площадей сечений, средней высоты, среднего диаметра, объема среднего дерева и отношения $H / (100 D)$. Среди всех восьми зависимостей существенной оказалась лишь взаимо-

связь дополнительного текущего прироста и суммы площадей сечений. Она имеет линейный вид и характеризуется коэффициентом корреляции $r = -0,70$ (при критическом его значении $r_{0,05} = 0,42$). Следовательно, с повышением полноты древостоя интенсивность дополнительного формирования древесного запаса снижается. Соответственно, коэффициент детерминации в данном случае составляет 49%. Очевидно, остальная доля средовой обусловленности реакции деревьев относится к эдафическим факторам. Более развернутая расшифровка каузальности бобрового эффекта связана с дальнейшими детальными почвенными исследованиями.

Список литературы

1. Балодис М.М., Цимдиньш П.А. Возможная роль бобра в ходе самоочищения воды загрязненных мелиоративных каналов и малых рек. - В кн.: Хозяйственная деятельность и охотничья фауна. Киров, 1980, т. 2, с. 66-67.
2. Лиела И.Я. Единая программа оценки реакции древостоя на влияние факторов воздействия. - В кн.: Моделирование и прогнозирование в экологии. Рига, 1980, с. 44-67.
3. Лиела И.Я., Дрике А.Я. Оценка реакции древостоя после устройства организованного насаждения. - В кн.: Моделирование и прогнозирование в экологии. Рига, 1978, с. 59-74.
4. Одум Ю. Основы экологии: Перевод с англ. - М., 1975.
5. Wilde S.A., Youngberg C.T., Novind J.H. Changes in composition of ground water, soil fertility and forest growth produced by the construction and removal of beaver dams. - Journal of Wildlife Management, 1950, vol. 14, N 2, pp. 123-128.

ДОЛГОПЕРИОДНЫЕ ТРЕНДЫ В МНОГОЛЕТНЕМ ХОДЕ
ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА И В КОЛЕБАНИЯХ РЕЧНОГО
СТОКА (НА МАТЕРИАЛАХ ПРИБАЛТИКИ)

В статьях [9,10] приведены результаты расчетов и их методика по выявлению тенденций в ходе речного стока для крупных регионов земного шара за период с 1918 по 1966 г. Направленность в ходе речного стока за 49-летний период рассматривалась в глобальном масштабе - по континентам и по бассейнам океанов. В частности, отмечено снижение водности у рек бассейна Атлантического океана, в том числе и у европейских.

Совершенно очевидно, что при разработке перспективных планов водопользования и водопользования обязательно должны учитываться направленность трендов (положительный или отрицательный) и их интенсивность. Известно, что водность рек и высота стояния уровня воды в озерах отражают увлажненность территории. Связь увлажненности с температурным фоном является определяющей в развитии многих биологических процессов. Поэтому при разработке моделей прогнозирования динамики природных процессов знание и количественная оценка тенденций в ходе речного стока и температуры воздуха могут сказаться весьма полезными, а иногда и незаменимыми.

Цель настоящего исследования - дать оценку тенденций в ходе стока воды рек восточного склона Балтийского моря (от Невы до Немана), по которым имеются наиболее длительные наблюдения, сопоставив их с трендом в ходе температуры воздуха в пунктах (Ленинград, Москва, Таллин, Рига, Вентспилс, Калининград). Затем ставится задача на основании анализа 100-летних наблюдений на Даугаве у Даугавпилса дать схему соподчиненности выявленных циклов колебания ее водности, с учетом междугодовой и внутригодовой

Возрастающие и убывающие длиннопериодные

Река-пункт, площадь водо- сборочного бассейна, км ²	Возрастающий тренд						
	пери- од	число лет	сток воды		оценки тренда		
			$Q_{m^3/c}$	σ_Q	b	σ_b	$\frac{b}{\sigma_b}$
Нева-Новосара- товская, 281000	1847- 1903	56	2580	396	4,62	4,54	1,0
Нарва-Васьк- нарва, 47800	-	-	-	-	-	-	-
Даугава* Даугавпилс, 54600	1813- 1903	91	447	100	0,16	0,40	0,4
Вента* Абава, 10800	1813- 1899	87	85	17	0,11	0,07	1,6
Неман-Смалинин- кай, 81200	1813- 1903	91	542	90	0,39	0,35	1,1
Суммарный сток 5 рек, 485400	1813- 1903	91	4050	607	3,24	2,41	1,3

* Примечание: По Даугаве и Венте ряды годового стока с 1813 г. до начала наблюдений (в конце прошлого века) реконструированы по данным Немана и Невы [6].

Таблица I

тренды в ходе годового стока рек в течение двух веков

период	число лет	Убывающий тренд				
		сток воды		оценки тренда		
		\bar{Q} м ³ /с	σ_Q	b	σ_b	$\frac{b}{\sigma_b}$
1903-1979	77	2470	435	-5,20	2,17	2,4
1902-1980	79	321	90	-1,58	0,41	3,9
1903-1979	77	461	117	-1,71	0,57	3,0
1899-1979	81	84	24	-0,15	0,11	1,4
1903-1979	77	541	98	-1,25	0,48	2,6
1903-1979	77	4000	690	-11,2	3,32	3,4

изменчивости речного стока.

Интенсивность изменения водности реки за рассматриваемый период можно описать линией регрессии, уравнение которой имеет вид [9]:

$$Q_i = \bar{Q} + b(t_i - \bar{t}),$$

где \bar{Q} - средний расход воды за расчетный период;
 \bar{t} - срединный год в рассматриваемом календарном ряду расчетного периода (для удобства его определения все расчетные периоды в табл. I (как и табл. 2) приняты нечеткими, например, для 77-летнего периода 1903-1979 гг. срединным годом является 1941 и т.д.);
 b - коэффициент регрессии, определяемый по формуле:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})(Q_i - \bar{Q})}{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}$$

Ошибка коэффициента регрессии (σ_b) рассчитывается по формуле

$$\sigma_b = \frac{1}{\sqrt{n-2}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2}{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2} - b^2}$$

Результаты расчетов представлены в табл. I.

Возрастающий тренд в ходе стока рек (табл. I) в течение прошлого столетия выражен слабее, чем убывающий в продолжении остального периода наблюдений до конца 70-х годов текущего века. Следует также отметить, что сведения о стоке рек в XIX в., по крайней мере в первые его несколько десятилетий, недостаточно надежны (по Даугаве и Венте они реконструированы), а по Неве имеются лишь с 1859 г. (за 1847-58 гг. они восстановлены по Буоксе).

Учитывая наличие корреляционной связи между стоком рек региона, мы составили ряд из величин суммарного стока воды, ежегодно вносимого в Балтийское море пятью реками (Нева, Нарва, Даугава, Вента, Неман) с общей площадью водосбора около 500 тыс. км² (или 3/4 от водосборного бассей-

на Балтийского моря в пределах СССР). За годы параллельных наблюдений годовые расходы всех 5 рек суммировались (за начальный период с 1813 г. они восстановлены по стоку Немана).

Полученный таким образом ряд ежегодного суммарного стока 5 рек, исключаящий элемент асинхронности в колебаниях стока на их водосборах, имеет и самостоятельное значение. Он дает представление о динамике притока пресных вод в Балтийское море (от объема притока зависит опреснение вод и условия обитания морских организмов). По сути, это новый ряд, в котором на долю Немана приходится лишь 13% от объема вод, вносимых в Балтику, а на Неву - до 50-60%.

На рис. I приводятся совмещенные графики многолетних колебаний суммарного стока 5 рек в Балтийское море и температуры воздуха по 6 пунктам. Для удобства сопоставления случайные колебания величины отфильтрованы. Сглаживание произведено с помощью 10-летних скользящих средних. Для ряда речного суммарного стока дополнительно показаны колебания нормированных модульных коэффициентов ($K = \frac{Q_i - Q_0}{Q_0}$), сглаженных с применением 3-летних скользящих средних с 6-кратной повторяемостью [4,5]. На рис. I показана также кривая 5-летних скользящих средних по Риге (по данным [2] более предпочтительной формой представления эмпирических характеристик векового хода климатических параметров является 5-летнее скользящее сглаживание).

На графике рис. Iб отчетливо видны тренды в ходе водности рек - возрастающий в течение прошлого века и убывающий с начала нынешнего, что соответствует данным табл. I. Однако для возрастающего тренда величины коэффициентов регрессии соизмеримы с их стандартными ошибками. Убывающий же тренд имеет статистически значимые оценки для всех рек (величины коэффициентов регрессии превышают их стандартные ошибки в 2,5-4 раза). Начавшийся с опережением, но наименее интенсивный тренд у Венты, отличающейся выраженным паводочным режимом круглый год из-за непосредственного воздействия Балтики и Атлантики. Водосборный бассейн этой реки расположен на западе Литвы и Латвии, вытянут

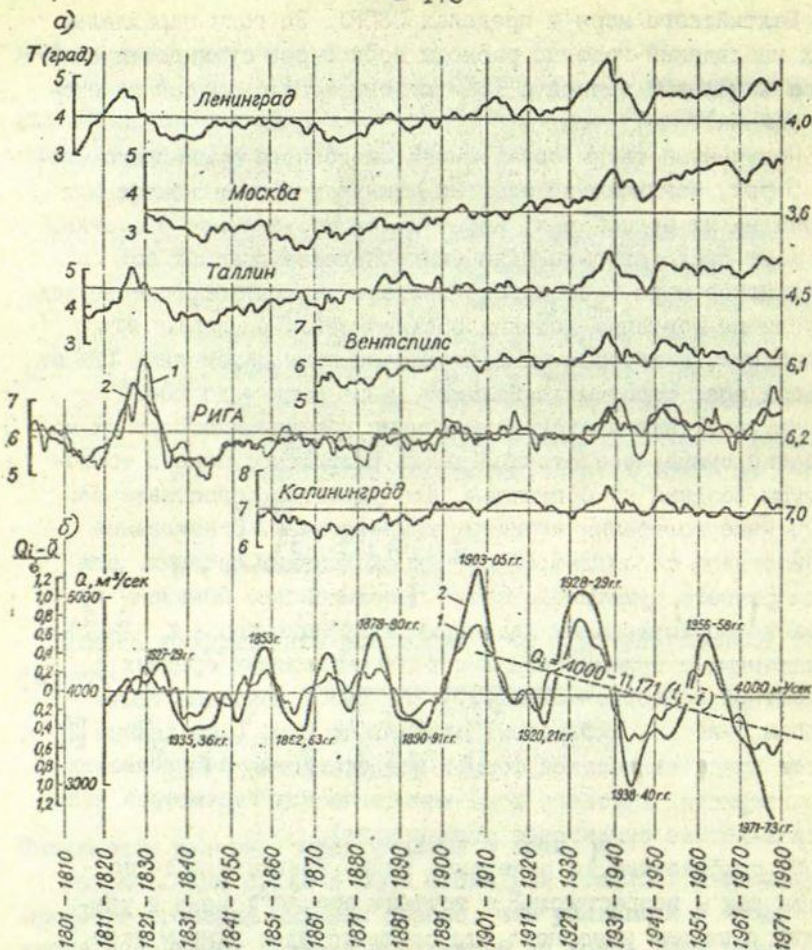


Рис. 1. Скользящие средние годовые температуры воздуха (а) и суммарный сток 5 рек в Балтийское море (б). 1 - 5-летние скользящие средние; 2 - 3-летние скользящие в 6-разовой повторности; все остальные - 10-летние скользящие.

вдоль побережья Балтийского моря.

Наибольшая убыль водности (0,3-0,5% ежегодно от нормы годового объема стока) обнаружена для Нарвы, Даугавы и суммарного стока 5 рек в Балтику. Для Даугавы в створе Даугавпилса (большая часть водосбора находится за пределами Латвии, во внутриконтинентальной области) за период с 1903 по 1979 гг. сток уменьшался на 1,7 м³/сек ежегодно. Наличие устойчивой тенденции к уменьшению объема стока этой реки - самой большой в Латвии - не должно остаться незамеченным планирующими органами республики, гидроэнергетиками (на реке действует каскад ГЭС), так же, как и проектировщиками в связи с проблемой межбассейновых перебросов стока и частичного изъятия воды из Даугавы.

Тенденцию в ходе температуры воздуха (см. рис. 1а) на всем интервале наблюдений в первом приближении можно описать линейным уравнением, как это сделано для рядов речного стока. Монотонно возрастающий тренд характерен для всех 6 пунктов. Оценки его интенсивности рассчитаны для пунктов на территории Эстонии, Латвии и Литвы (табл. 2). Для Ленинграда и Москвы графики заимствованы у И.Е.Бучинского [1], но дополнены материалами наблюдений за 1951-1980 гг., обработанными по той же методике.

Таблица 2

Тренды в ходе температуры воздуха

Пункт наблюдений	Период наблюдений	Число лет	Оценки трендов				
			\bar{t}	σ_t	b	σ_b	$\frac{b}{\sigma_b}$
Таллин	1806-1980	175	4,5	1,08	0,008	0,002	4,0
Рига	1796-1980	185	6,2	1,04	0,003	0,001	3,0
Вентспилс	1862-1980	119	6,1	0,96	0,007	0,002	3,5
Калининград	1848-1980	133	7,0	0,88	0,004	0,002	2,0

Этим трендом обусловлено около 20% дисперсии ряда.

Сопоставление графиков на рис. 1 приводит к важному выводу. На общем фоне современного потепления климата (особенно резко заметно после холодных 30-х годов XIX в.) го-

ды на стыке веков были переломными. В прошлом веке преобладали температуры воздуха ниже нормы (средней величины за период наблюдений), в текущем же столетии, наоборот, — выше нормы. Тенденция к убыванию речного стока началась именно с этих переломных лет. Такой вывод согласуется с данными о наличии с начала текущего столетия убывающего тренда в ходе уровня воды озер при одновременном повышении уровня Мирового океана [11].

Таким образом, тенденции в ходе температуры воздуха и речного стока в регионе являются отражением процессов глобального масштаба. Они обусловлены изменениями направлений и интенсивности циркуляции земной атмосферы на фоне долгопериодных трендов в колебаниях солнечной активности. Активность солнца с 30-х гг. и до конца XIX в. имела тенденцию к уменьшению, в течение же текущего столетия, наоборот, — к увеличению. Что же касается атмосферной циркуляции воздуха, то, по исследованиям Института Арктики и Антарктики [3], при осуществлении типов атмосферной циркуляции по классификации Г.Я.Вангенгейма — А.А.Гирса над европейским сектором территории Советского Союза с конца прошлого и в течение всего текущего столетия повторяемость восточной циркуляции имеет тенденцию повышаться, а западной — убывать. Этим, возможно, и объясняются длиннопериодные изменения как в ходе температуры воздуха, так и водности рек региона.

Для практического использования важно знать не только долгопериодные тенденции, но также и специфические свойства процесса колебаний стока. Необходимость учитывать цикличность (чередование много- и маловодных периодов) при оценке водных ресурсов рек регламентируется методическими указаниями Государственного гидрологического института [13]. Результаты исследований региональных особенностей в колебаниях стока рек и уровня озер региона рассматривались автором в [4, 5], где предложена вероятностная экстраполяционная модель основного внутривекового цикла водности. Она позволяет фиксировать на оси ординат временную изменчивость информативных параметров в хронологи-

ческом порядке на интервале 26+27 (+4) лет.

В статье методического характера [8] для оценки внутри- и межгодовой изменчивости речного стока последовательность средних месячных расходов воды р. Даугавы у Даугавпилса была исследована методом корреляционного и спектрального анализа в стационарном приближении процесса. Во внутригодовой изменчивости регулярные (ежегодные) колебания со средними периодами в 2, 3, 4, 6 и 10 месяцев. Периоды 2-, 3- и 4-месячные соответствуют длительности сезонов года в данном географическом регионе: осень (октябрь и ноябрь), зима (декабрь-февраль), весна (март-май) и лето (с июня по сентябрь). Периоды 6-месячные - это полугодия, в которые входят зима с весной и лето с осенью. Именно только при таком сочетании сезонов каждое полугодие содержит периоды как межени, так и большой воды (зимняя межень - весеннее половодье, летняя межень - осенние паводки).

От года к году происходит циклическая повторяемость процесса (годовой гидрологический цикл). Главной ее особенностью является модуляция (ослабление или интенсификация) внутригодовых циклическостей, что свидетельствует о нестационарности процесса. Эти основополагающие закономерности позволяют отнести процесс многолетних колебаний речного стока к классу периодически нестационарных. На основании этой гипотезы и с помощью соответствующего математического аппарата периодической нестационарности были вычислены вероятностные характеристики периодически коррелированного случайного процесса. Затем произведено сопоставление выводов, полученных на основе анализа реализации стока воды р. Даугава с позиций стационарного случайного процесса и периодически коррелированного случайного процесса. В междугодовой изменчивости стока выявлена периодичность со средней продолжительностью в 4 года и 18 лет.

Использование при исследованиях колебаний речного стока методов корреляционного и спектрального анализа или различных методов сглаживания исходных данных - это все многочисленные попытки разработать более или менее адекватную модель реальному природному процессу. Однако из-за

различий в подходе и интерпретации результатов конечные выводы не одинаковы. Так, в [12] выявлена ритмичность процесса колебаний годового стока рек Европы с циклической нестационарностью 2-3, 4-5, 6-7, 8-9, 10-15 и 22-35 лет. Для рек нашего региона характерно, что вклад низкочастотных колебаний в общую дисперсию процесса достигает 27-30%.

В [16, с. 388, 389] при анализе автокорреляционной функции годового стока рек бассейна Днепра сделан вывод, о том, что увеличение ординат при сдвиге 25 лет есть результат совпадения по фазе двух циклов (8- и 17-летних), а не наличия 25-летнего цикла. Однако, по-видимому, интерпретация здесь возможна и иная, а именно - как указание на наличие циклов и 25-летних, и более коротких.

В [15, с. 28, 29] с применением спектрального анализа исследуется годовой сток р. Даугава у Даугавпилса и Витебска за 1881-1964 гг. Сделан вывод о том, что изменение стока Даугавы представляет собой простую цепь Маркова. И хотя для этой реки усматривать наличие "циклическости" в многолетних колебаниях ее стока якобы необоснованно, на с. 6 этой монографии сказано: "По-видимому, нет оснований утверждать, что в стоковых рядах вообще отсутствуют детерминированные периодические или почти периодические составляющие."

Возникает вопрос: не заслоняет ли математика реальный изучаемый объект? Ведь спектральная плотность, как и ряд других статистических показателей, - это лишь формальный аппарат для описания языком математики сложного природного процесса - колебаний речного стока. Многие природные процессы, как и сток, имеют волновой характер, но волны эти обычно нерегулярные. Согласно [17], где для исследования пространственно-временных закономерностей структуры гидрометеорологических полей и оценки возможности их практического использования дается характеристика многих современных математических методов и приемов анализа. На основе результатов обширного фактического материала сделан однозначный вывод - о реальности проявления циклическости в структуре рядов гидрометеорологических наблюдений.

На рис. 2 приводится хронологический график средних годовых расходов воды р. Даугавы у Даугавпилса за 1877-1981 гг. В отличие от [7], где аналогичный график построен в основном для выявления линейных трендов в пределах основных внутривековых циклов, нами ставилась цель показать на графике элементарные циклы в ходе водности. Длительность их колеблется от 2 до 6 лет. Наибольшую повторяемость (36%) имеют 4-летние, затем следуют 3-летние (29%) и 5-летние (23%). В сумме на них приходится 88%. Повторяемость же как 2-летних, так и 6-летних невелика; соответственно 2 и 10%. Эти данные поясняют, почему по спектральной плотности S резко выделяется своим весом 4-летний цикл.

В правой части рис. 2 показаны динамические средние (сглажены полиномом 7-й степени) годовых расходов в фазе подъема IV-VI циклов (нумерация циклов принята по наиболее длительному ряду наблюдений в Прибалтике на р. Неман), приведенные к одному 18-летнему периоду, а также и усредненные ординаты сглаженной кривой. Если принять ее в качестве прогнозной, хотя бы в первом приближении описывающей тенденцию развития процесса колебаний водности р. Даугавы, то реализация его в VII цикле (на периоде с 1972 по 1981 гг.) в известной мере служит подтверждением правильности сложившихся представлений о закономерностях междугодовой изменчивости стока этой реки.

Сглаженная кривая (рассчитана до 1978 г.) фазы подъема VII цикла занимает самое нижнее положение, что согласуется и с отмеченным выше трендом уменьшения водности в текущем столетии. Отдельные выбросы за пределы (как это случилось со стоком маловодного 1976 г.) неизбежны.

Проблема предсказуемости некоторыми учеными ставится в зависимости от решения проблемы причинности, хотя это вряд ли вполне правомерно при отсутствии разработанной общей теории климата. Физические основы дальних внутривековых связей пока не вскрыты и наличие их утверждается на основе чисто статистических расчетов, однако поиск причин обнадеживает. В [18] циклы 26-28-летние в ходе водности рек объяс-

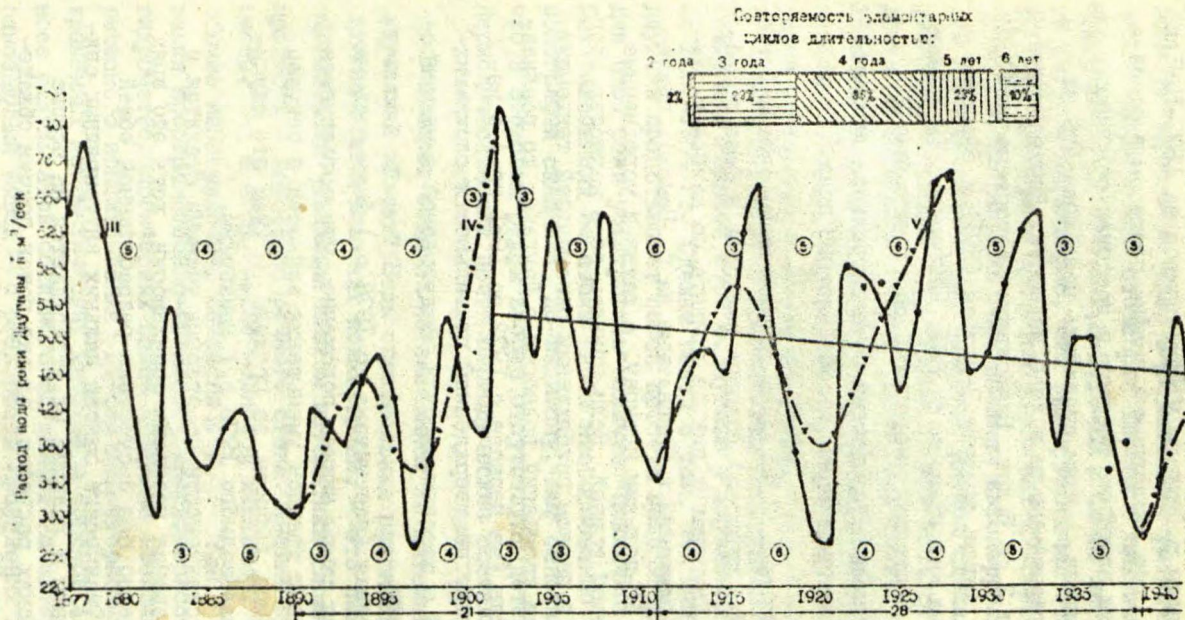
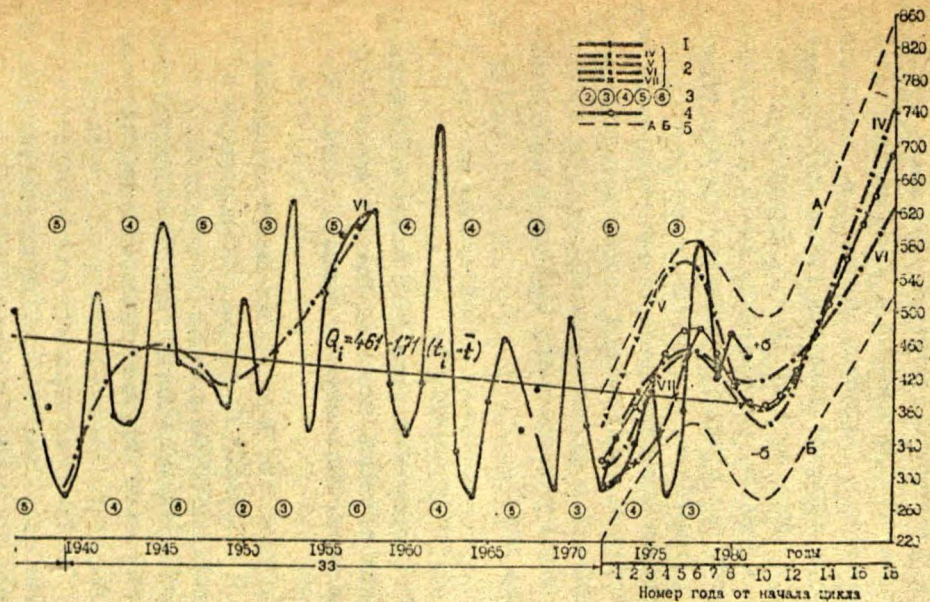


Рис.2. Хронологический график данных и повторяемость элементарных циклов в колебаниях средних годовых расходов воды р. Даугавы у Даугавпилса.

1 - динамика многолетних колебаний расходов за 1877-1981 гг.

2 - III-УП - номера основных внутривековых циклов и соответствующих сглаженных кривых расходов в фазе подъема;



- 3 - продолжительности элементарных циклов между максимумами (верхний ряд) и между минимумами (нижний ряд) в многолетнем ходе стока;
- 4 - усредненные по IV-VII ординаты сглаженных кривых, приведенных к одному периоду;
- 5 - верхний и нижний пределы средней квадратической ошибки.

Спектр повторяемости длительностей элементарных циклов показан диаграммой.

няются космическими причинами. Нам представляется возможной следующая интерпретация: колебания перигея вводят цикл в 8,85 года, а прецессии цикла лунной орбиты — цикл в 18,61 года (весь цикл 27,5 года). Уместно отметить, что в 1976-77 гг. ученые США установили статистическую связь между рассчитанными таким образом циклами и изменениями соотношения изотопов кислорода (являются показателем колебаний средней температуры воздуха) в кернах гренландского льда за период с 1200 г. до н.э. и до 1970 г. Вероятность отсутствия связи $< 0,005\%$. По [12] циклы 14-15 и 10-12-летние рассматриваются как следствие действия стоячих термобарических волн в атмосфере, а 4-5-летние связываются со скоростью перемещения аномалии температуры поверхности воды в Северной Атлантике, оказывающей непосредственное воздействие на междугодовую изменчивость атмосферных процессов и элементов общей увлажненности (осадки и испарение, сток рек и уровень озер).

Список литературы

1. Бучинский И.Е. Современные колебания климата.— Географическая летопись климата. Новое в жизни, науке, технике: Сер. Науки о земле, 1981, №8, с.20-30.
2. Винников К.Я., Груза Г.В. и др. Современные изменения климата Северного полушария.—Метеорология и гидрология, 1980, №6, с.5-17.
3. Гирс А.А. Многолетние колебания атмосферной циркуляции и долгосрочные гидрометеорологические прогнозы. Л., 1971.
4. Глазачева Л.И. Циклический характер колебаний стока рек и уровня озер Средней Прибалтики.— Труды ГГО, 1976, вып.378, с.90-109.
5. Глазачева Л.И. Методика выявления внутривековых длинно-периодных циклов в колебаниях увлажненности (на примере Прибалтики).— В кн.: Оптимизация использования и воспроизводства лесов СССР. М., 1977, с.42-49.

6. Глазачева Л.И. Схематическая модель циклических колебаний годового стока рек и уровня озер Средней Прибалтики. - XXIII Междунар. геогр. конгресс, секция 2. - М.: Наука, 1976, с.196-197.
7. Глазачева Л.И., Курило Л.И. Тренды в колебаниях годового стока рек Средней Прибалтики. - В кн.: Моделирование и прогнозирование в экологии. Рига, 1980, с. 85-98.
8. Глазачева Л.И., Масанова М.Д., Мякишева Н.В., Рожков В.А. Вероятностный анализ и моделирование речного стока. - Труды Ленинградской ГМО, 1981, вып. 13.
9. Денисов П.П. Методика оценки тенденций в ходе речного стока. - Метеорология и гидрология, 1975, №4, с. 101-104.
10. Денисов П.П. Изменение речного стока по крупным регионам земного шара. - Метеорология и гидрология, 1980, №6, с. 106-107.
11. Калинин Г.П., Клинке Р.К. К вопросу о вековых колебаниях уровня Мирового океана. - В кн.: Формирование ресурсов вод суши. М., 1972, с. 21-34.
12. Масанова М.Д. Нестационарность ритмических составляющих гидрологических рядов. - III Совещание "Ритмика природных ресурсов": Тезисы докладов, Л., 1976, с. 19-20.
13. Методические рекомендации к составлению справочника по водным ресурсам СССР. Норма и изменчивость годового стока. - Л., 1961, вып. 5.
14. Поляк И.И. Методы анализа случайных процессов и полей в климатологии. - Л., 1979.
15. Раткович Д.Я. Многолетние колебания речного стока. - Л., 1976.
16. Рождественский А.Б., Чеботарев А.И. Статистические методы в гидрологии. - Л., 1974.
17. Сачок Г.И. Пространственно-временная структура гидрометеорологического режима Белоруссии и прилегающих регионов. - Минск, 1980.
18. Шелутко В.А. Некоторые закономерности многолетних колебаний стока рек СССР. - Труды ГГИ, 1973, вып. 196, с. 228-243.

П. П. Залитис
ИГО Силава (Саласпилс).

ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОСАДКОВ В ЛЕСАХ РАЗЛИЧНОЙ СТРУКТУРЫ

Рассматривая биогеоценоз леса как саморегулирующуюся систему, мы оцениваем воду как один из пяти незаменимых элементов входа (радиация, вода, углекислый газ, кислород, минеральные элементы), необходимых для функционирования биогеоценоза. Основным источником воды являются осадки, которые в пределах биогеоценоза поступают в виде дождя и снега. Каждому из этих видов свойственна различная гидрологическая и экологическая роль. Последняя бывает настолько сложной, что часто не поддается даже словесному описанию, не говоря о детальной математической формализации взаимоотношений между осадками и, скажем, приростом древостоя.

Даже в сходных эдафических условиях увеличение количества осадков может обуславливать как понижение, так и повышение прироста [1] в зависимости от конкретных метеорологических условий и физиологического состояния биоценоза. Сложность этих взаимоотношений в большой степени затрудняет интерпретацию дендроклиматических наблюдений: коэффициенты парных корреляций между шириной годичного слоя и количеством осадков только в редких случаях превышают 0,4.

Вопрос о влиянии лесистости территории на количество осадков подробно освещен во многих публикациях, и в настоящей работе мы отметим только общие закономерности.

Доказано, что в некоторых горных районах деревья "вычесывают" своими ветвями и листьями из туманов дополнительно 125-760 мм осадков за год. На равнинных территориях влияние лесистости значительно меньше, и возрастание лесистости на 10% увеличивает количество осадков примерно на 5 мм [2]. Разница между количеством осадков в лесной и безлесной местностях считается статистически достоверной [3]. Однако достоверные различия в объеме измеренных осадков еще

не означают, что над лесом их выпадает больше, чем над не покрытыми лесом угодьями [4,5]. К сходным результатам пришел А. Михович [6]: для территорий, лесистость которых превышает 30%, осадки над лесом и полем выпадают в одинаковом количестве.

Мы разделяем эту точку зрения и считаем, что варьирование процента лесистости по территории Латвийской ССР не может служить причиной повышения или уменьшения количества осадков. Возможное увеличение осадков на 5-10 мм за год над более облесенными территориями не имеет существенного значения при сравнительно большом их объеме (среднее многолетнее количество осадков на территории республики составляет 755 мм) и дискретном характере летних дождей.

Взаимодействие между лесным биогеоценозом и водной системой начинается с задержания части осадков в кронах деревьев (интерцепции). В приближенных расчетах водного баланса лесных и безлесных участков этот показатель чаще всего не выделяется как отдельное составляющее [2]. Однако полог леса играет роль мощного перераспределителя водного потока, и интерцепция непосредственно влияет на протекание многих очень важных процессов внутри леса: увлажнение почвы; аэрация почвы; обмен веществ и др.

Общая модель интерцепции сложна. Уже с самого начала дождя часть осадков достигает почвы, а часть остается в пологе, откуда испаряется. С продолжением дождя возрастает количество влаги в обеих частях до полного смачивания поверхности лесонасаждения. Осадки, выпадающие после этого, уже полностью достигают поверхности почвы. Количество осадков, при котором поверхность лесонасаждения полностью смачивается, и максимальное количество осадков, задержанное пологом лесонасаждения, рассматриваются как важные лесогидростатические постоянные. Поэтому вполне обосновано стремление многих авторов создать математические модели интерцепции. Основное внимание при этом уделяется моделированию интерцепции во время отдельных дождей, и некоторые модели дают вполне достоверные результаты. Однако практическое применение этих моделей ограничивается из-за большого числа

входящих в модели параметров. Определение этих параметров необходимо для каждого лесонасаждения и для каждого дождя [7,8]. В число параметров входят: полнота древостоя, радиус проекций крон деревьев, радиус внутренней (безлиственной) части крон, форма крон, площадь поверхности хвои, количество осадков для полного смачивания древостоя, количество осадков над лесом и температура воздуха во время дождя. Модели интерцепции наглядно иллюстрируют сложность этого процесса, однако определение почти каждого из этих параметров значительно сложнее, чем непосредственное измерение самой искомой величины — показателя интерцепции или проникших в почву осадков.

Интерцепция во время отдельных дождей нами оценена по данным стационарных наблюдений за 13-летний период. Для выявления закономерностей перераспределения осадков в насаждениях поставлено 200 дождемеров в 10 характерных группах лесонасаждений. В дальнейшем ходе работы выяснилось, что некоторые из выбранных лесонасаждений сходны в отношении интерцепции. При группировании сходных по интерцепции лесонасаждений мы пользовались способом, рекомендованным в биометрии для объединения в одну, две или более выборочных совокупностей. В результате исследуемые лесонасаждения были объединены в 3 группы: молодняки (вырубки); сосново-лиственные древостой и еловые древостой, внутригрупповая интерцепция в которых за время одного дождя средней величины существенно не отличалась как по своим средним арифметическим, так и по своим стандартным отклонениям.

Наши данные показывают, что в любом лесонасаждении есть места, на которых в почву проникает столько же осадков, сколько их выпадает на открытом месте. Также наблюдаются места, которые получают значительно (в 2-3 раза) меньше или больше осадков, чем их выпадает в открытом месте.

Результаты анализа свидетельствуют о том, что измерения объема воды в одном дождемере, хотя бы с очень высокой точностью, не могут служить надежным показателем интерцепции всего древостоя. Это правило сохраняется даже в том случае, если уже проводились предварительные наблюдения, и из всех

дождемеров выбран такой, который находится в месте, где в почву проникает приблизительно столько же осадков, сколько их проникает в среднем по всему изученному участку. Для оценки достоверности показателей отдельных дождемеров мы вычислили коэффициенты между измерениями интерцепции во время отдельных дождей выборочными дождемерами и большого числа дождемеров. В молодняках $\eta = +0,84$, в сосново-лиственных лесах $\eta = +0,75$, в еловых лесах $\eta = +0,76$ при $\eta_{0,05} = 0,25$. Хотя и коэффициенты корреляции существенны, варьирование средних показателей интерцепции только на 55-70% определяется измерениями отдельных дождемеров.

Исследование возможности установления количественных взаимосвязей между показателями отдельных дождемеров и легко измеряемыми метеорологическими параметрами, в частности количеством осадков на открытом месте во время отдельного дождя, показало, что и интерцепция в одном месте на 15-45% обуславливается варьированием количества осадков на открытом месте. Дополнительными факторами, влияющим на интерцепцию, являются ветер и испаряемость. Даже отдельные порывы ветра уменьшают интерцепцию на 3,0 мм. Кроме того, интерцепцию уменьшает туман, увлажняющий кроны деревьев и почвенную растительность перед дождем. Поэтому интерцепцию во время отдельных дождей даже в одном месте целесообразно рассматривать как вероятностный процесс. Для иллюстрации сказанного приводим параметры нормального распределения показателей интерцепции во время отдельных дождей (количество осадков над лесом превышает 10 мм): в молодняках $\bar{Y}_1 = 2,5$ мм; $\sigma_1 = 2,0$ мм; в сосново-лиственных лесах $\bar{Y}_2 = 4,0$ мм, $\sigma_2 = 1,8$ мм; в еловых лесах $\bar{Y}_3 = 5,6$ мм, $\sigma_3 = 3,5$ мм.

Наряду с увеличением числа дождемеров, разумеется, возрастает также дисперсия показателей интерцепции. При этом дисперсия отражает как влияние метеорологических условий, так и влияние гетерогенности структуры древостоя. Возникает вопрос: какая часть дисперсии обуславливается влиянием метеорологических факторов и какая - гетерогенностью структуры древостоя. Это целесообразно знать для определения не-

сбходимого числа дождемеров. С увеличением их числа можно лучше учитывать влияние гетерогенности структуры лесонасаждения, но невозможно исключить влияние метеорологических факторов. В результате дисперсионного анализа выявилось, что значительное влияние структуры древостоя на общую дисперсию интерцепции наблюдается только в молодняках. Однако и здесь, увеличивая число дождемеров, общую дисперсию интерцепции не удастся уменьшить более чем на 42%. В насаждениях остальных групп такая возможность еще меньше: в сосново-лиственных лесах - 18%; в еловых лесах - 15%. Это ограничивает создание детерминированной математической модели интерцепции во время отдельных дождей.

Для установления возможностей применения стохастической модели необходимо выявление типа вероятностного распределения интерцепции. В нашем случае если количество осадков на открытом месте 0С 5 мм, во всех группах насаждений эмпирическое распределение интерцепции существенно не отличается от нормального распределения вероятностей (критерий хи-квадрат). В результате анализа параметров распределений выявилось, на какой площади лесонасаждения в почву проникает столько же или больше осадков, чем их выпадает на открытом месте, т.е. какую долю площади занимают места как будто с отрицательными показателями интерцепции. В молодняках, пока там не сомкнулись кроны деревьев, такие места занимают приблизительно одну треть территории. В других насаждениях места с отрицательной интерцепцией занимают около 13% территории.

Для определения динамики проникших в почву осадков предпочтение отдается непосредственным измерениям интерцепции во время отдельных дождей.

Интерцепция за один месяц. При оценке водного баланса лесонасаждения по уравнению (I)

$$0С + П = Q + ЭТ \pm \Delta W \quad , \quad (I)$$

- где 0С - осадки,
П - приток посторонних вод,
Q - сток,
ЭТ - эвапотранспирация,

ΔW - изменения влагосодержания в почвогрунте; одним из основных источников ошибок является определение влагосодержания в почвогрунте. Территориальное варьирование интерцепции обуславливает различное влагосодержание в пределах лесонасаждения. Влагосодержание в почвогрунте всегда определяется со сравнительно большими ошибками. Если величина ΔW определяется с ошибкой ± 10 мм, что происходит не так уж редко, то величины приходной и расходной частей водного баланса должны быть не меньше 100 мм. Такой объем баланса обычно наблюдается только за месячный период.

Коэффициенты корреляции между интерцепцией и количеством осадков за месячный период ($r = +0,67 \dots +0,73$) свидетельствуют о существенной, но недостаточно тесной взаимосвязи. В это же время тесная корреляционная связь ($r = +0,99$ при $r_{0,05} = 0,75$) между групповыми средними количества осадков и интерцепцией не отрицает возможность создания уравнения линейной регрессии, достаточно точно аппроксимирующего закономерности варьирования интерцепции. Задание заключается в выявлении дополнительного независимого переменного в уравнении регрессии. Предполагается, что таким показателем может быть число дождевых дней, так как при одинаковом количестве осадков интерцепция больше будет в месяцах с большим числом дождевых дней. В качестве математической модели интерцепции за месячный период нами было принято уравнение линейной регрессии с двумя независимыми переменными: количеством осадков за месяц ($OС, мм$) и числом дней с осадками больше 1,0 мм (n).

Молодняк. Интерцепция за месяц в период с июня по сентябрь аппроксимируется уравнением регрессии (2)

$$И = 0,03 \cdot OС + 1,4 n - 3 \quad (2)$$

Коэффициент множественной корреляции $R = 0,82$, стандартное отклонение регрессии $s = 2,8$ мм. Дисперсия интерцепции на 22% обуславливается количеством осадков и на 45% - числом дождливых дней. Значит, количество осадков не является главным фактором. Сила влияния независимых переменных в уравнении регрессии (2) проверена критерием Фишера и оказалась существенной: $F_{OС} = 12,12 > F_{0,05} = 4,20$; $F_n = 47,08 > F_{0,05} = 4,20$.

Сосново-лиственные леса:

$$И = 0,1 \cdot OC + 1,3n - 1; \quad (3)$$

$R=0,88$; $s=4,5$ мм. Дисперсия интерцепции на 40% обуславливается количеством осадков и на 37% - числом дождливых дней. Критерий Фишера указывает на существенную силу влияния переменных: $F_{oc} = 68,0 > F_{0,05} = 4,20$; $F_n = 43,3 > F_{0,05} = 4,20$.

Еловые леса:

$$И = 0,09 \cdot OC + 2,2n - 3; \quad (4)$$

$R=0,90$; $s=5,3$ мм. Дисперсия интерцепции на 31% обуславливается количеством осадков и на 50% - числом дождливых дней. Критерий Фишера: $F_{oc} = 27,6 > F_{0,05} = 4,20$; $F_n = 51,4 > F_{0,05} = 4,20$.

В мае и октябре интерцепция составляет 80% от интерцепции в летние месяцы. Поэтому для определения интерцепции в этих месяцах $И$ следует умножить на 0,8.

При модальных величинах независимых переменных ($OC=73$ и $n=8$), интерцепция по группам лесонасаждений имеет следующие величины: в молодняках (вырубках) - 10 мм; в сосново-лиственных лесах - 17 мм; в еловых лесах - 21 мм. Параметр доверительного пояса регрессии оказывается равным $1,64 s_{И}$, а относительная ошибка $\delta_{И} \% = 1,64 s_{И} / И < 10\%$. Следовательно, упомянутыми уравнениями регрессии можно пользоваться не только для определения показателей интерцепции, но и для определения количества проникших в почву осадков. В таком случае относительная ошибка вычисленных показателей не превышает 4%.

Используя данные о структуре древостоев на водосборных площадях стационара Весетниeki, мы изучили закономерности варьирования интерцепции также по пяти лесным массивам со сравнительно пестрой структурой. Уравнения регрессии для отдельных водосборных площадей (5-9):

$$И = 0,09 \cdot OC + 1,4n - 1; \quad (5)$$

$$И = 0,09 \cdot OC + 1,4n - 1; \quad (6)$$

$$И = 0,07 \cdot OC + 1,4n - 2; \quad (7)$$

$$И = 0,07 \cdot OC + 1,5n - 2; \quad (8)$$

$$И = 0,06 \cdot OC + 1,5n - 2. \quad (9)$$

Решая эти уравнения при модальных величинах независимых переменных ($OC = 73$, $n = 8$), для отдельных водосборных площадей получаем следующие данные интерцепции: 17 мм; 17 мм; 14 мм; 16 мм; 14 мм соответственно. Эти результаты сравнительно близкие и подтверждают предположения, что несмотря на существенные различия интерцепции в отдельных лесонасаждениях, различия между интерцепцией на территориальных совокупностях лесонасаждений (водосборная площадь; лесные массивы или их части) часто бывает незначительными. В условиях интенсивного ведения лесного хозяйства обычно спелые древостои (относительно большая интерцепция) находятся рядом с молодняками и вырубками (небольшая интерцепция), и, таким образом, общая интерцепция на всей территориальной совокупности мало отличается от интерцепции древостоев среднего возраста, в нашем случае — интерцепции в сосново-лиственных лесах.

Интерцепция за вегетационный период. Изучая закономерности, определяющие зависимость между древостоем и водным режимом почвогрунта, часто приходится учитывать способности саморегулирования фитоценозами интенсивности их водопотребления. Водопотребление (в основном транспирация) лесонасаждения даже за месячный период пока еще поддается детерминированию, если используются только физические параметры атмосферы и почвы. Транспирация тесно связана с другими сложными процессами, и одним из наиболее надежных способов элиминирования их влияния на расходную часть водного баланса пока остается продление периода, за который осредняются и суммируются составляющие водного баланса. Закономерности водопотребления сравнительно наглядно проявляются, если водный баланс лесонасаждения замыкается за вегетационный период.

Прежде чем составить уравнения регрессии, характеризующие интерцепцию за вегетационный период, мы проверили возможность использования приведенных уравнений. Возможность экстраполяции эмпирических уравнений линейной регрессии зависит от того, насколько сохраняется пропорциональность между зависимыми и независимыми переменными уравнений. Как графический, так и аналитический анализ показыва-

кт, что пропорциональность, установленная между переменными за месячный период, сохраняется весь вегетационный период ($r = +0,98$). Следовательно, нет необходимости создавать систему новых уравнений. Единственная поправка заключается в изменении свободного члена уравнения регрессии. В силу этого в дальнейших расчетах интерцепции за вегетационный период использованы следующие уравнения регрессии (I0-I2):

в молодняках
$$И = 0,03 \cdot OC + 1,4 n - 20 ; \quad (I0)$$

в сосново-лиственных лесах

$$И = 0,1 \cdot OC + 1,3 n - 10 ; \quad (II)$$

в еловых лесах

$$И = 0,09 \cdot OC + 2,2 n - 20 . \quad (I2)$$

Адекватность этих уравнений регрессии проверена сопоставлением результатов фактических измерений с вычисленными. За период 1967-1977 гг. отмечены следующие средние показатели количества осадков и дождливых дней: $OC = 427$ мм; $n = 50$ дней. При решении уравнений регрессии с этими переменными получены следующие результаты:

интерцепция	вычисленная	измеренная	разница
в молодняках	63 мм	63 мм	0
в сосново-лиственных лесах	98 мм	95 мм	+3 мм
в еловых лесах	128 мм	115 мм	+13 мм

Небольшая разница между вычисленными и измеренными величинами подтверждает, что нет необходимости определять новые уравнения регрессии. За период с 1 мая по 31 октября интерцепция на водосборных площадях по годам варьирует в широких пределах: от 47 мм до 159 мм. Однако в один и тот же год разница между данными интерцепции небольшая и не превышает 11 мм. Эта закономерность позволяет использовать одно уравнение регрессии для определения интерцепции на территории, занятой лесным массивом. Такое уравнение необходимо для выявления водорегулирующей роли леса на больших территориях. В нашем случае (I3)

$$И = 0,08 \cdot OC + 1,4 n - 10 , \quad (I3)$$

$R = 0,985$; $\delta = 4,7$ мм. Варьирование интерцепции на 52% обуславливается количеством осадков и на 45% - числом дожд-

ливых дней.

Нередко задается вопрос : насколько изменяется интерцепция в результате трансформации биогеоценозов после их гидромелиорации ? Наши исследования режима осадков в низкобонитетных древостоях ($У^a$ и $У^o$ классы бонитета) свидетельствуют о том, что интерцепция здесь мало отличается от интерцепции в молодняках. Поэтому изменения показателей интерцепции можно оценить следующим образом: после гидромелиорации в сосново-лиственных лесах интерцепция возрастает на 10% от осадков (на 50 мм), а в еловых лесах-на 15% от осадков (на 70 мм) за вегетационный период. Поскольку интерцепция в кронах деревьев существенно ограничивает транспирацию, то есть основание считать, что в результате повышенной интерцепции после гидромелиорации расходная часть водного баланса лесного биогеоценоза возрастает всего на 10-15 мм за вегетационный период.

Список литературы

1. Лархер В. Экология растений. - М., 1978.
2. Рахманов В.В. Водоохранная роль лесов. - М., 1962.
3. Федоров С.Ф. Исследования элементов водного баланса в лесной зоне Европейской территории СССР. - Л., 1977.
4. Рагуотис А. Влияние лесов на выпадение осадков. - Тр. ЛитНИИ лес.хоз., 1973, 14, с. 189-194.
5. Субботин А.И. Влияет ли лес на осадки ? - Лесоведение, 1979, 5, с. 13-18.
6. Михович А.И. Регулируемое лесосоошение. - М., 1979.
7. Хильми Г.Ф. Задержание лесом дождевых осадков. - В кн.: Теоретическая биогеофизика леса. - М., 1957, с. 60-78.
8. Харитонов Л.П. Модель для расчетов проникновения осадков под полог смешанных древостоев. - Лесоведение, 1979, 1, с. 74-83.

В.А.Балодис, Г.Е.Поспелова,
К.К.Раман
ЛГУ им. П.Стучки (Рига)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОСАДКОВ НА
ТЕКУЩИЙ ПРИРОСТ ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО
В ПОДМОСКОВЬЕ

Лесные фитоценозы зеленых зон крупных городов подвергаются постоянному и непрерывно возрастающему антропогенному воздействию. Комплекс факторов, воздействующих на лесонасаждения зеленых зон, можно подразделить на три качественно различные группы: загрязнение воздуха и почвы промышленными выбросами; рекреационная деятельность; изменение гидрологического режима. В результате воздействия этих факторов нарушается саморегуляция биоценозов, а при достижении определенного уровня отрицательного воздействия начинается деградация древостоев. Процесс деградации в начальных стадиях протекает обычно визуально незаметно, и только на конечном этапе появляются его признаки: разреживание кроны, появление сухих ветвей, суховершинье и т.д. После появления внешних признаков деградации, остановить ее гораздо труднее. Из лесных фитоценозов лиственных пород в Подмосковье наиболее чувствительными к воздействию антропогенных факторов оказались дубравы, в которых наблюдается усыхание и гибель деревьев. Для составления эколого-прогностической оценки состояния фитоценозов, определения динамики их изменений, выявления основных отрицательных факторов воздействия и ответной реакции фитоценозов нами использовался метод математического моделирования. Теоретической основой этого подхода является знание биологической реакции живых организмов на воздействие внешних факторов. При этом учитывается, что одно и тоже воздействие оказывает различное влияние на отдельные компоненты древостоя и ответная реакция их на это

воздействие также различна. Решению задач наших исследований соответствовали такие показатели динамики хода роста древостоя, как текущий прирост по запасу (Z_M) и радиусу (Z_R).

Эмпирический материал собирался в 1978 году в насаждениях дуба черешчатого Государственного исторического заповедника леспаркхоза "Горки Ленинские". Было заложено 8 пробных площадей и взято 100 спилов с усохших деревьев в дубравах, отличающихся по возрасту, бонитету и типу лесорастительных условий. Величина отдельных пробных площадей от 0,12 до 0,20 га. На каждой из них производился сплошной пересчет деревьев, измерялись высота и диаметр у 10-12 деревьев для конструирования кривой высот, у 25-30 деревьев буровом Пресслера брались образцы древесины, включающие весь период роста. Средний возраст древостоя определялся у 2-3 деревьев на уровне корневой шейки. Спилов брались у 20-30 деревьев каждого класса возраста после полного их усыхания в наиболее деградированных фитоценозах. Ширина годичных колец на спилах и образцах, взятых с помощью бурава Пресслера, измерялась на электронной аппаратуре, сконструированной в Рижском политехническом институте.

По разработанному И.Я. Лиёпой [1] алгоритму проводился ретроспективный анализ как отдельных деревьев, так и целых насаждений. Ретроспективный анализ охватывал период существования древостоя начиная с времени достижения им средней высоты 8 м до 1978 года, при этом определялись погодичные значения основных таксационных показателей. Поскольку абсолютная величина годичных колец зависит, кроме метеорологических и антропогенных факторов, от типа леса, условий питания, возраста насаждений, ее сравнение для различных деревьев и древостоев является некорректным. Поэтому нами применялся индексный метод. Индексы ширины годичных колец вычислялись как отношение ширины кольца i -го года к средней арифметической прироста за последние 30 лет (I).

$$I = x_i / \bar{x}, \quad (I)$$

где I - индекс текущего прироста по радиусу;

X_i - ширина годичного кольца i -го года;

\bar{X} - среднее значение ширины годичных колец за последние 30 лет.

В экспериментальных кривых, построенных по индексам, в значительной мере элиминируются изменения, вызванные индивидуальными особенностями и экологическими условиями модельных деревьев. Динамика изменения текущего прироста по радиусу, выраженная в индексах, наиболее адекватно отражала хронологические изменения прироста под воздействием антропогенного фактора, что позволяло оценить поведение модельных деревьев и выявить характерные признаки их деградации.

На рис. 1 представлена динамика изменения текущего прироста по радиусу в индексах I усохших деревьев в зависимости от возраста. Графики рассчитаны по методу скользящей средней за II лет.

Как видно на рис. 1, существенный критический спад текущего прироста дубрав разного класса возраста наступил в 1966-1967 годах. Полное усыхание деревьев наступало, если средний текущий прирост по радиусу составлял 0,4-0,7 мм (0,1-0,5 в индексных единицах) и уменьшался в 2-3 раза по сравнению с максимальным. Усыхание молодых деревьев наступило при более высоких значениях текущего прироста, и тренд их деградации более динамичен.

Анализ пробных площадей, которые были заложены в основных массивах дубовых насаждений, показал, что большинство из них находятся в крайне опасном состоянии и относятся к прогностически отмирающим. На рис. 2 представлена динамика изменения текущего прироста по радиусу в индексных единицах у разновозрастных насаждений дуба. Насаждения в возрасте 90-115 лет находятся в лучшем состоянии, тренд их деградации не так динамичен, как у насаждений в возрасте 45 лет.

Существенное возрастающее отрицательное влияние на лесонасаждения заповедника оказывают промышленные выбросы коксогазового завода и общий фон загрязнения воздуха. Однако общее критическое состояние дубрав Подмосковья, находящихся на разном расстоянии от источников эмиссии, сви-

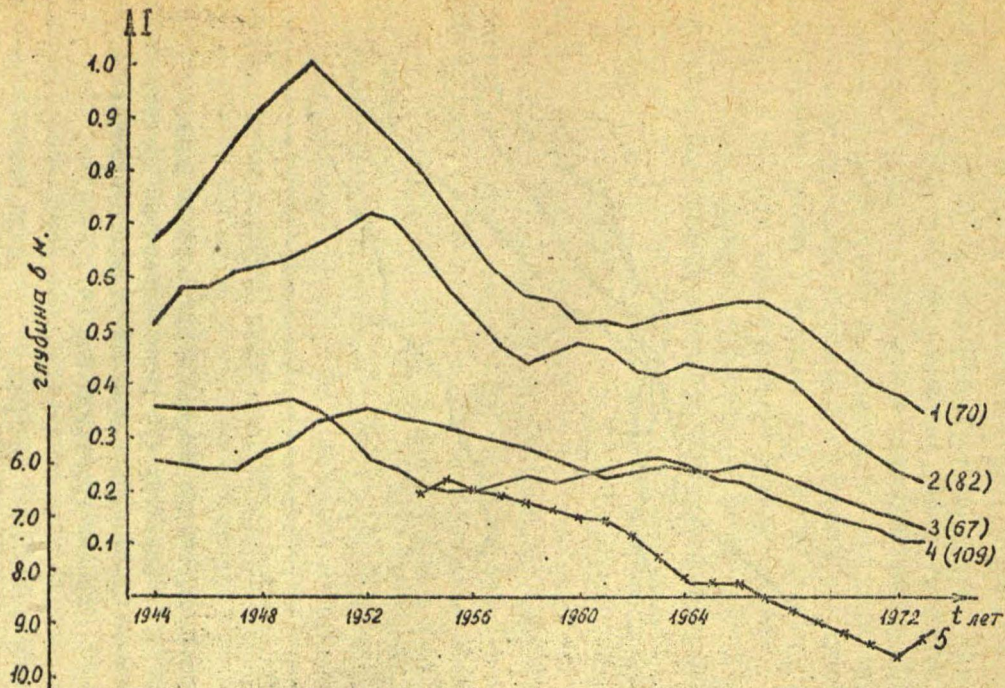


Рис. 1. Изменение текущего прироста по радиусу в индексах (I) разновозрастных усохших деревьев (I-4) дуба (возраст указан в скобках) и уровня грунтовых вод (5).

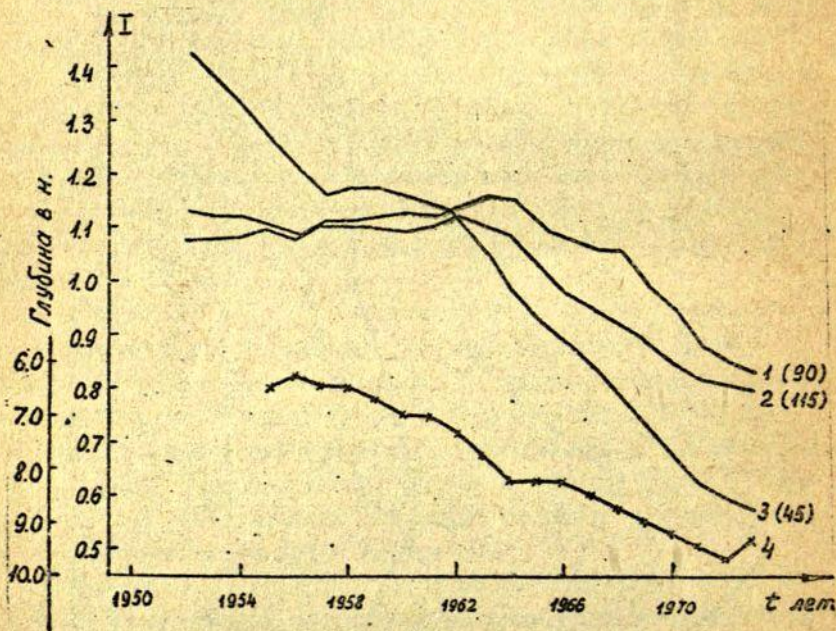


Рис.2. Изменение текущего прироста по радиусу в индексах (I) разновозрастных древостоев (1-3) дуба (возраст указан в скобках) и уровня грунтовых вод (4).

детельствует о наличии других отрицательно влияющих факторов. Одним из таких факторов является гидрологический режим дубрав, который обеспечивается грунтовыми водами и осадками. Сопоставление изменения уровня грунтовых вод Подмосковья (по данным Московской гидрорежимной партии) с динамикой текущего прироста показывает, что динамика трендов деградации древостоя и отдельных деревьев совпадает с трендом снижения уровня грунтовых вод. Более старые деревья находятся в меньшей зависимости от уровня грунтовых вод, чем молодые, что, очевидно, объясняется более развитой корневой системой. Корреляционная связь между уровнем грунтовых вод и текущим приростом по радиусу у насаждений в возрасте 90 лет $r = 0,56$, а в возрасте 55 лет $r = 0,89$ существенна при уровне значимости $\alpha = 0,01$. Дуб черешчатый значительно больше, чем другие лесобразующие породы потребляет воду на формирование древесины. По данным В. Лархера [2] на 1 г образованного сухого вещества дуб испаряет 340 г воды (бук - 170 г, сосна - 300 г, ель - 230 г). С помощью этой зависимости был определен дефицит почвенной влаги за вегетационный период.

Произведенный для восьми пробных площадей расчет показал, что в зависимости от возраста и бонитета насаждений, типа лесорастительных условий при учете средней многолетней нормы осадков количество минимально потребной влаги составляет от 270 до 440 м³/га. Восполнение дефицита влаги целесообразно проводить в периоды интенсивного роста и развития древостоя, когда он ощущает наиболее острый недостаток влаги. Для выявления этих периодов был проведен множественный регрессионный анализ по методике И.Я. Лиеня [3], на основе которого была определена декадная сила влияния суммы осадков на текущий прирост по радиусу (Z_R) за четырнадцать месяцев (с июля предыдущего года по сентябрь текущего); составлена схема смежных активных периодов воздействия этого фактора (рис. 3), а также определены критические значения удельного веса влияния фактора ($\gamma_{\alpha, \beta, \gamma}$). На рис. 3 отмечены только те декады, в которых влияние осадков существенно и

превышает критические значения удельного веса влияния фактора $\gamma_j > \gamma_{\alpha; \nu_1; \nu_2}^*$.

$$\gamma_{\alpha; \nu_1; \nu_2}^* = \frac{F_{\alpha; \nu_1; \nu_2} (1 - \sum \gamma_j^2)}{n - k - 1} \quad (2)$$

где $\gamma_{\alpha; \nu_1; \nu_2}^*$ - критическое значение удельного веса влияния фактора;

$F_{\alpha; \nu_1; \nu_2}$ - теоретическое значение критерия Фишера при уровне значимости $\alpha = 0,05$ и степенях свободы $\nu_1 = 1$, $\nu_2 = n - k - 1$;

n - число наблюдений;

k - число градаций исследуемого фактора;

$\sum \gamma_j^2$ - суммарное воздействие градаций исследуемого фактора.

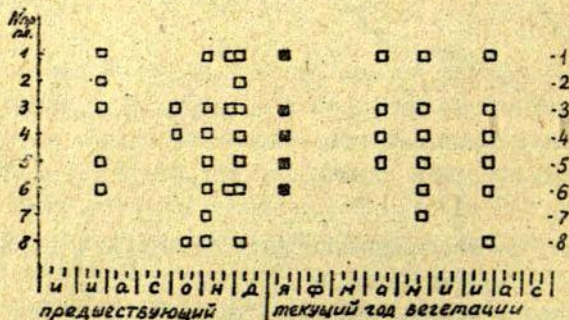


Рис. 3. Хронологическая схема смены активных периодов воздействия осадков на текущий прирост по запасу насаждений дуба черешчатого на 8 пробных площадях (□ - влияние существенное, отрицательное; ■ - влияние существенное, положительное; Я, Ф, ... Д месяцы).

На рис. 3 видно, что величина удельного веса влияния в июне и первых двух декадах июля не превышала критического уровня $\gamma_{\alpha, \nu_1, \nu_2}$, а в третьей декаде июля на 5 пробных площадях из 8 существенно увеличилось отрицательное влияние этого фактора. По данным Н.А. Бородиной [4], в третьей декаде июля заканчивается II этап органогенеза - формирование зачатков листьев, и начинается III этап - заложение осей мужского соцветия. Следующий активный период наблюдается в первой и третьей декаде ноября, первой декаде декабря и, очевидно, связан с тем, что дуб входит в зиму на очень чувствительном VI этапе органогенеза. В январе положительное влияние оказывает высота снежного покрова, которая предохраняет корневую систему от отрицательного влияния низкой температуры. Активные периоды в апреле, мае и июне текущего года соответствуют процессам интенсивного роста и развития вегетативных органов дуба. На первый взгляд, кажется парадоксальным то обстоятельство, что, за исключением II декады января, влияние осадков на прирост по радиусу у дуба в активные периоды было отрицательным. Это можно объяснить повышенной требовательностью дуба черешчатого к реакции почвы. Исследования А.Ф. Иванова с сотрудниками [5] показали, что для нормального роста и развития дуба почвенная влага должна иметь $pH = 6,0-7,0$. В условиях Подмосковья эта реакция обеспечивалась грунтовыми водами и осадками, сформировавшимися в атмосфере, относительно свободной от природных и антропогенных источников загрязнения. Данные полевой станции Института агрохимии и почвоведения АН СССР [6] показывают повышение кислотности осадков за 1975-1978 гг. на 1,5 единицы, а в 1978 г. отмечалось pH атмосферных осадков 3,7.

Результаты наших исследований показывают, что одного лишь искусственного орошения дубрав Подмосковья недостаточно для предотвращения их дальнейшей деградации. Необходима система мероприятий по нейтрализации отрицательного воздействия кислотных осадков. Для разработки такой системы требуются дальнейшие исследования.

Список литературы

1. Лиєпа И.Я., Дрике А.Я., Поспелова Г.Е. Значение ретроспективного анализа наличного древостоя для изучения взаимосвязей между лесным фитоценозом и средой. - В кн.: Количественные методы анализа растительности. Рига, 1971, с. 172-177.
2. Дархер В. Экология растений. - М., 1978.
3. Лиєпа И.Я. Методика составления хронологической схемы активных периодов влияния факторов воздействия. - В кн.: Ель и ельники Латвии, Рига, 1975, с. 152-159.
4. Бородина Н.А. Биологический контроль за развитием и ростом дуба. - В кн.: Биологический контроль в сельском хозяйстве /Под редакцией Ф.М.Куперман.М., 1962. с. 239-241.
5. Иванов А.Ф., Поньмарев А.В., Дергина Т.Ф. Отношение древесных растений к влажности почвы. - Минск, 1966.
6. Будаткин Г.А. Рост кислотности атмосферных осадков. - Природа, 1981, №1, с. 88-89.

СОДЕРЖАНИЕ

И. Я. Лиёпа. К математическому моделированию в экологии	3
Р. Г. Баранцев. Политомические модели системного подхода	42
Н. А. Козырев. Время как физическое явление	59
А. М. Мауринь. Проблемы разработки онтогенетической шкалы биологического времени	73
Е. В. Краснов. О моделировании времени в геологии и палеонтологии	82
В. А. Балодис. Временная организация радиальной структуры древесины	96
А. М. Мауринь, О. Э. Никодемус, К. К. Раман, П. А. Шарковский. Возможный принцип типизации леротопов городской экосистемы	105
К. К. Раман, О. Э. Никодемус. Изменение функциональной структуры сосновых ценозов под влиянием рекреации	114
О. Э. Никодемус. Исследование геокомпонентов при моделировании влияния рекреации на лесные экосистемы	119
Э. Д. Мешковский. Адаптивное значение групп деревьев со сходным типом реакции	130
В. А. Балодис. Особенности оценки синхронности кривых в дендрозкологических исследованиях	136
Г. Е. Пospelова, И. Я. Лиёпа, А. Я. Скудра, П. П. Залитис. Результаты исследований реакции сосновых древостоев на влияние технологических коридоров	148
М. М. Балодис, И. Я. Лиёпа, А. Я. Скудра, И. Ф. Еспериня. Оценка реакции лесонасаждений на повышение уровня грунтовых вод при образовании бобровых водохранилищ	158

Л.И.Глазачева. Долгопериодные тренды в многолетнем ходе температуры воздуха и в колебаниях речного стока (на материалах Прибал- тики)171
П.П.Залитис. Перераспределение осадков в лесах различной структуры186
В.А.Балодис, Г.Е.Поспелова, К.К.Раман. Моделирование влияния осадков на текущий прирост дуба черешчатого в Подмоскowie196

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ В БИОЭКОЛОГИИ
Сборник научных трудов

Редакторы А. Мауринь, Н. Сарамонова
Технический редактор А. Скудра
Корректор А. Скудра

Подписано к печати 13.08.82. ЯТ 05389. Ф/б 60x84/16.
Бум. I. 13,3 физ. печ. л. 12,4 усл. печ. л. 10,2 уч.-изд. л.
Тираж 500 экз. Зак. № 1795. Цена I р. 55 к.

Латвийский государственный университет им. П. Стучки
Рига 226098, б. Райниса, 19
Отпечатано в типографии, Рига 226050, ул. Вейденбаума, 5
Латвийский государственный университет им. П. Стучки

УДК 581.5.08

К математическому моделированию в экологии. Лица И.Я.
Моделирование и прогнозирование в биоэкологии-Рига,
1982:3-41.

Обзор современного состояния развития математического моделирования. Приводятся классификация моделей, их характеристика и примеры разных видов математического моделирования в биологии и экологии. Табл. I, библиогр. 39.

УДК 581.5.08

Политомические модели системного подхода. Баранцев Р.Г.
Моделирование и прогнозирование в биоэкологии-Рига,
1982:42-58.

Изложена концепция политомического подхода для разработки системных моделей. Показана недостаточность растространенного дихотомического подхода. Выдвигаемые методологические положения иллюстрируются примерами. Библиогр. 18.

УДК 581.5.08

Время как физическое явление. Козырев Н.А. Моделирование и прогнозирование в биоэкологии-Рига, 1982:59-72.

Излагается оригинальная концепция времени как физической активной субстанции. Приводятся результаты исследований воздействия времени, как организующего начала, на вещество. Илл. 3, библиогр. 7.

УДК 581.5.08

Проблемы разработки онтогенетической шкалы биологического времени. Мауринь А.М. Моделирование и прогнозирование в биоэкологии. Рига, 1982:73-81.

Рассматриваются два основных подхода к формализации биологического времени: как меры скоростей и ускорений жизненных процессов, а также выведения его из ритмики биологических систем. Приводятся результаты приложения временной функции Бакмана к периодизации онтогенеза. Табл. I, библиогр. 16.

УДК 550.93:56(II)

О моделировании времени в геологии и палеонтологии.
Краснов Е.В. Моделирование и прогнозирование в био-
экологии-Рига, 1982: 82-95.

Рассмотрены трудности моделирования времени в геологи-
ческих и палеонтологических системах отсчета, связанные с
большим разнообразием возможных путей перехода к реляти-
вистским оценкам пространственно-временных отношений. По-
казана относительность временных шкал в разных по масшта-
бу и уровню взаимодействий системах отсчета, указывающих
на необратимо-направленную эволюцию самого биосферного
времени. В качестве инвариантов преобразований предлага-
ется использовать симметризуемые биохимические и морфо-
структурные отношения. Библиогр. 15.

УДК 581.5.08

Еремсиная организация радиальной структуры древесины.

Галодис В.А. Моделирование и прогнозирование в биоэко-
логии-Рига, 1982:96-104.

Обсуждаются цитологические основы гистометрической ин-
дикации хода роста древесины. Показано, что структурные осо-
бенности годичного кольца определяют как процесс роста
растяжением, так и процесс деления клеток. Илл. 2, библиогр.
16.

УДК 581.5.074

Возможный принцип типизации леротопов городской эко-
системы. Мауринь А.М., Никодемус О.Э., Раман К.К., Шар-
ковский П.А. Моделирование и прогнозирование в био-
экологии-Рига, 1982:105-113.

Представлен возможный принцип выделения однотипно за-
грязненных участков (леротопов) городской экосистемы. Ле-
ротопы выделяются на основе анализа накопления загрязняю-
щих элементов в биомассе растений (в листьях деревьев
и сфагновых мхах). Илл. 3.

УДК 581.5.08

Особенности оценки синхронности кривых в дендрозкологических исследованиях. Балодис В.А. Моделирование и прогнозирование в биоэкологии: Рига, 1982: 136-147.

Показано, что датировка годовичных колец древесины в дендрозкологических исследованиях требует особой методики, отличной от применяемой в дендроклиматологии. Предлагается ряд методических подходов для оценки синхронности дендрозкологических кривых. Табл. I, илл. 5, библиогр. 10.

УДК 591.5.074

Результаты исследований реакции сосновых древостоев на влияние технологических коридоров. Пospelова Г.Е., Лиeпа И.Я., Скудра А.Я., Залитис П.П. Моделирование и прогнозирование в биоэкологии: Рига, 1982: 148-157.

Изложены результаты многолетних исследований реакции сосновых древостоев на совместное влияние прокладки технологических коридоров и рубки ухода в межкоридорной зоне. Выявлены и охарактеризованы типы реакции лесных фитоценозов в зависимости от их структуры. Табл. I, илл. 3, библиогр. 2.

УДК 591.5:634.928.5

Оценка реакции лесонасаждений на повышение уровня грунтовых вод при образовании бобровых водохранилищ. Балодис М.М., Лиeпа И.Я., Скудра А.Я., Еспериня И.Ф. Моделирование и прогнозирование в биоэкологии: Рига, 1982: 158-170.

Приводится анализ реакции древостоев, произрастающих на берегах бобровых водохранилищ, обусловленной повышением грунтовых вод в результате образования плотин. Выявлено положительное влияние бобровой деятельности на древесный прирост в условиях выраженного рельефа. Исследованы структура и погодичная динамика реакции различных лесных экосистем. Табл. I, илл. 7, библиогр. 5.

УДК 581.5.074

Изменение функциональной структуры сосновых ценозов под влиянием рекреации. Раман К.К., Никодемус О.Э. Моделирование и прогнозирование в биоэкологии: Рига, 1982: 114-118.

Охарактеризованы последовательные изменения нижних ярусов сосновых ценозов под влиянием рекреации. Рассмотрена интенсивность рекреационной деградации ценозов в зависимости от естественных экологических факторов – элемента рельефа, местоположения на рельефе, типа почвы и др.

УДК 581.5.074(08)

Исследование геокомпонентов при моделировании влияния рекреации на лесные экосистемы. Никодемус О.Э. Моделирование и прогнозирование в биоэкологии: Рига, 1982: 119-129.

Рассмотрены физико-химические изменения геокомпонентов (в основном почвенного покрова) под влиянием рекреационного воздействия. Илл. 3, библиогр. 12.

УДК 591.5

Адаптивное значение групп деревьев со сходным типом реакции. Мешковский З.Д. Моделирование и прогнозирование в биоэкологии: Рига, 1982: 130-135.

Показано, что деревья одной ценопопуляции по взаимной корреляции образуют две группы: с относительно однородной (ОГ) и неоднородной (НГ) реакцией на воздействие экологических факторов. Деревья ОГ в оптимальных условиях произрастания более продуктивны, но значительно больше страдают от воздействия отрицательных факторов, чем деревья НГ. Илл. 3.

УДК 551.482.2(474.3)

Долгопериодные тренды в многолетнем ходе температуры воздуха и колебаниях речного стока (на материалах Прибалтики). Глазачева Л.И. Моделирование и прогнозирование в биоэкологии.-Рига, 1982:171-185.

На основании анализа средних годовых величин температуры воздуха и речного стока в Прибалтике (от Немана до Невы) за период почти двухвековых наблюдений выявлены и математически описаны длительные тенденции в ходе этих элементов. Оценена величина ежегодной убыли объема годового стока р.Даугава и суммарного стока 5 рек, втекающих в Балтийское море по его восточному побережью. Табл.2, илл.2, библиогр.18.

УДК 581.5.02/05

Перераспределение осадков в лесах различной структуры. Залитис П.П. Моделирование и прогнозирование в биоэкологии.-Рига, 1982:186-195.

Изложены результаты количественного изучения перераспределения осадков в различных лесных экосистемах. Анализирована динамика интерцепции в зависимости от ее характера и фитоценологических, таксационных и эдафических особенностей лесных фитоценозов. Библиогр.8.

УДК 591.5.

Моделирование влияния осадков на текущий прирост дуба черешчатого в Подмоскowie. Балодис В.А., Пospelова Г.Е. Раман К.К. Моделирование и прогнозирование в биоэкологии.-Рига, 1982:196-204.

Анализом динамики изменения текущего прироста дубовых насаждений выявлено совпадение характера тренда деградации древостоя с трендом снижения уровня грунтовых вод. Показано отрицательное влияние кислых осадков на прирост дубовых насаждения. Илл.3, библиогр.6.