



---

**Ученые записки**

**МОДЕЛИРОВАНИЕ  
И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ  
В БОТАНИКЕ**

**III**

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

Ученые записки  
Латвийского государственного университета  
имени Петра Стучки  
том 239

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ В БОТАНИКЕ

III



Латвийский государственный университет  
Рига 1975

Утверждено  
на кафедре ботаники  
Биологического факультета  
ЛГУ им. П. Стучки

УДК 519.95:85

Моделирование и прогнозирование в ботанике,  
III

Сборник является узкотематическим. В статьях сборника обобщаются исследования сотрудников кафедры ботаники ЛатвГУ им. П. Стучки в области математического моделирования и прогнозирования экологических и эволюционных явлений в ботанических объектах. Результаты проведенных исследований, обобщаемые в сборнике, являются определенным вкладом в развитие теории и методики моделирования, прогнозирования и оптимизации биологических систем. В практически-прикладном плане эти результаты представляют определенный интерес для разработки биологических основ АСУ в лесном и сельском хозяйстве.

Редакционная коллегия: ✕

д-р биол. наук, проф. А. М. Мауринь (ответственный редактор), канд. биол. наук И. Я. Лиела, канд. биол. наук В. А. Балодис.

© Латвийский государственный университет, 1975

И 21006-133у 145-75  
М 812(II)-75



*21*

И. Я. Лица

## МОДЕЛИРОВАНИЕ — ОСНОВНОЙ ИНСТРУМЕНТ НАУЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Современная наука характеризуется двумя противоречивыми тенденциями — тенденцией к дифференциации научного знания и тенденцией к его интеграции. Первая тенденция проявляется в выделении отдельных разделов той или иной науки в относительно самостоятельные научные направления со своими специфическими методами и задачами. Наряду с идущей все далее дифференциацией науки, происходит ее интеграция, основанная на объединении научных методов и на установлении общих закономерностей. Наблюдается стремление к постановке общих задач, постепенно вырабатываются общие понятия и идеи, общий язык и терминология, выявляются попытки создания таких научных дисциплин, которые ориентированы на применение своих понятий, методов и результатов в самых различных областях науки и практики. Наиболее ярким выражением этой тенденции является возникновение кибернетики.

Единого мнения о предмете кибернетики среди специалистов нет. Основоположник кибернетики Н. Винер [9] характеризует ее как науку об управлении и связи в живых организмах и машинах. У. Р. Эшби [30] определяет ее как абстрактную теорию всех возможных машин, которая отвлекается от всех особенностей машин, за исключением присущего им способа поведения, задаваемого некоторым преобразованием, преводящим одни способы состояния машины в другие ее состояния. А. Н. Колмогоров [13] и В. М. Глушков [32] трактуют кибернетику как науку, которая занимается изучением систем любой природы, способных воспринимать, хранить и перерабатывать информацию и использовать ее для управления и регулирования. По мнению А. И. Берга [5] кибернетика — это наука о целенаправленном и оптимальном управлении сложными динамическими системами, основывающаяся на теоретическом фун-



даменте математики и логики, а также на применение средств автоматки, особенно электронных вычислительных машин. Как отмечают В.В.Парин, Б.В.Бирюков, Е.С.Геллер, И.Б.Новик [24] в своем существе все определения предмета кибернетики совпадают с трактовкой кибернетики как науки об управлении и информации, а нюансы в формулировках характеризуют и акцентируют ее с различных сторон.

Кибернетический подход к изучению различных, в том числе и биологических, объектов резко активизировал развитие метода, получившего название "моделирование". Моделирование является методом кибернетики, но ряд авторов его называют даже основным методом. П.К.Анохин [2] пишет: "Моделирование - вот понятие, с которым сейчас наиболее тесно связаны надежды на кибернетический подход и математическое изучение жизненных процессов и функций." (стр.5). Моделирование непосредственно связано с усилением интеграционных тенденций научного познания, вторжением в биологию методов смежных наук, повышением роли точного эксперимента в его взаимодействии с современными способами математического описания и объяснения биологических фактов. В этом плане моделирование непосредственно связано с системным подходом.

Моделирование получило широкое распространение как метод исследования в различных науках. Однако в понятии терминов "моделирование" и особенно "модель" существуют большие разногласия. В.В.Косолапов [14] подсчитал, что в научной литературе существует 34 вида интерпретации понятия "модель". Часть авторов термином "модель" оперируют очень широко, включая сюда такие понятия как теория, гипотеза, представление, закон. При такой интерпретации этого термина следует, что все исследователи, мыслители с древнейших времен и до настоящего времени занимались моделированием. И.Б.Новик [22] и В.А.Веников [8] под "моделью" понимают естественный или искусственный объект, находящийся в соответствии с изучаемым объектом или с какой-либо из его сторон. В процессе изучения он служит относи-

тельно самостоятельным "квазиобъектом", позволяющим получить при его исследовании некоторое опосредованное знание о самом изучаемом объекте. Метод исследования, при котором изучаются не сами объекты познания, а их модели и результаты переносятся с модели на объект, называется моделированием.

Всякая модель является известным упрощением своего оригинала, так как "... человеческое понятие причины и следствия всегда несколько упрощает объективную связь явлений природы, лишь приблизительно отражая ее, искусственно изолируя те или иные стороны одного единого мирового процесса" (В.И. Ленин. Полн. собр. соч. т. 18, стр. 160). Это означает, что одна модель не в состоянии отразить все содержание сложной развивающейся системы, а способна лишь с достаточной полнотой раскрыть те некоторые аспекты, которые подлежат непосредственному исследованию. По мнению А. Розенблута и Н. Винера в этом заключается характерная особенность модели (цит. по [31]). Абсолютное подобие между моделью и оригиналом означало бы тождество, т.е. замену одного объекта другим, точно таким же. Метод моделирования в этом случае потерял бы смысл [8]. Один и тот же объект изучения может иметь много моделей, даже не обязательно совместимых одна с другой [25].

Общим свойством всех моделей является их способность так или иначе отображать действительность. В зависимости от того, как, какими средствами, при каких условиях и т.д. это их общее свойство реализуется, возникает большое разнообразие моделей, различающихся, как по содержанию и типу, так и по цели и назначению, как по "материалу", из которого они строятся, так и по их характеру взаимоотношения между моделью и оригиналом. Чтобы разобраться во всем многообразии научных моделей, следует построить их классификацию, которая отразила бы не только различия, но и то общее, что объединяет все научные модели. В настоящее время существует множество разных классификаций [8, 10, 22, 27, 29], но к сожалению, нет единой, общепринятой классификации мо-



делей и методов моделирования.

Ныне среди различных методов моделирования биологических объектов математическое моделирование занимает видное место. Этот метод — одна из самых перспективных форм взаимодействия математики и биологии. Математическое моделирование непосредственно связано с математизацией процесса познания, являющейся прогрессивной чертой развития науки. К. Маркс считал, что наука только тогда достигает совершенства, когда ей удастся пользоваться математикой [18]. Г. Н. Зубенко и А. С. Кардашева [12] пишут, что в наше время зрелость естественнонаучных теорий может быть еще в большей мере определена степенью привлечения математического аппарата. Использование методов биологической кибернетики, в частности математического моделирования, неразрывно связано с процессами приема, хранения, переработки и передачи информации [3, 5, 9, 18, 30]. В этих процессах преобладают количественные и логические закономерности, поэтому основным орудием изучения сложных систем является математический аппарат, являющийся общим и строгим научным языком исследователей от физики элементарных частиц до моральных проблем [4]. Использование математических методов и современных средств вычислительной техники не только многократно повышает темп и эффективность анализа первичного экспериментального материала, но коренным образом изменяет методологию научных исследований, повышает роль теоретических разработок, снижает удельный вес дорогостоящих и длительных экспериментов.

А. А. Дячунов [19] отмечает, что в каждой науке можно видеть три стороны или три части: эмпирическую, теоретическую и математическую. Эмпирическое естествознание занимается накоплением фактического материала и его первичной систематизацией. Теоретическое естествознание приводит этот материал в целостную систему и отыскивает общие закономерности, господствующие в природе и проявляющиеся в этом материале. Математическое естествознание конструирует модельные объекты, подчиняющиеся аналогичным законо-



мерностям, и изучает их поведение. И. А. Акчурин, М. Ф. Веденов, Ю. В. Сачков [1] выделяют три этапа математизации всякой науки. Первый из них — математическая обработка эмпирических данных. Второй этап характеризуется разработкой и исследованием математических моделей. В биологии сейчас наиболее широко представлены работы, которые относятся к первым двум этапам. Но рано или поздно встанет вопрос и о третьем этапе — этапе создания полной математической теории биологических объектов.

При изучении системы по частям или целостного поведения ее взаимосвязи между ее подсистемами, их элементами и параметрами можно выразить в математической форме. Этому математическому выражению большинство авторов присвоили наименование "математическая модель", подразумевая под этим математическую формулу или набор формул [27]. Некоторые авторы называют математические модели также формальными, логическими, логико-математическими моделями или абстрактными (математическими) управляющими системами [20].

Математическое моделирование имеет ряд преимуществ перед экспериментом и физическим моделированием: облегчается отыскание аналогий между процессами, обладающими совершенно различной природой; его очень удобно осуществлять с помощью аналоговых или дискретных ЭВМ, следовательно, резко снижается стоимость исследовательских работ и достигается существенная экономия времени. Кроме того, живые системы можно ставить в различные условия эксперимента лишь в узких пределах влияющих факторов. Нельзя, например, при изучении фотосинтеза подвергать растение воздействию любой температуры. Математическую же модель живой системы можно ставить в любые условия без риска существенного нарушения нормального функционирования этой системы. Н. А. Бернштейн [6] пишет, что "... в мышлении человека всегда существует известный несознаваемый произвол, при наличии которого горячая внутренняя убежденность автора способна побудить его принять желаемое

за действительное. Но уже модель, оформленная как программа для цифровой машины или как электронный аналог, не поддается никаким попыткам уговорить или переубедить ее в чем-либо таком, что не согласно с ее структурой. Модель неукоснительно работает по объективным законам природы или столь же прочно установленным законам математических отношений" (стр. 8). Выводы, полученные на модели (если они сделаны квалифицировано), существуют объективно, они не могут быть опровергнуты ни красноречием, ни ссылкой на авторитет, ни голосованием [11].

По способу реализации математические модели обычно подразделяют на аналоговые (непрерывные) и цифровые (дискретные). В основе аналоговых моделей лежит математическая теория подобия. Их достоинством является возможность исследования оригинала в любой момент протекания процесса, в непрерывном взаимодействии всех его параметров. Аналоговые модели позволяют решить задачу исследования даже в том случае, когда не существует аналитических методов решения. В настоящее время существует множество аналоговых моделей разных биологических явлений. Обсуждались возможности применения аналоговых моделей в исследованиях древесных ресурсов [15].

Дискретное моделирование предполагает дискретные изменения, полученные путем реализации математической модели на цифровой вычислительной машине. Достоинством дискретных моделей, по сравнению с аналоговыми, является высокая точность полученных результатов. Математические модели дискретного типа нашли обширное применение в различных биологических науках, в частности, в биогеоэкологических исследованиях [25].

Математическое моделирование сводится к следующим этапам. Первым этапом математического моделирования является серьезный, содержательный качественный анализ. Здесь необходимо применение богатого арсенала классических и новейших биологических методов исследования. Использование этих методов должно создавать предпосылки для последующего перехода к различным математическим методам. Не следует забывать, что



при математическом изучении биологических явлений нельзя просто подгонять их под имеющиеся в нашем распоряжении представления и математические средства, а нужно настойчиво искать форму и способ математического описания, которые соответствовали бы реальной природе вещей [35]. При моделировании происходит перенос знаний с более простой системы на более сложную. Однако сопоставляемые системы, стлчаются друг от друга не только по чисто количественным признакам, они относятся к качественно различным уровням организации материи. В силу этого механический перенос этих знаний без учета качественной специфики самой модели и моделируемого объекта не даст нужного, плодотворного результата. Недооценка предварительного качественного анализа может в дальнейшем привести к существенным ошибкам. На первом этапе определяются задачи исследования и объект (предмет) моделирования. Ведь предметом моделирования могут быть структура и целостные свойства системы, структура и поведение отдельного элемента, комплекс взаимосвязей между элементами и т.д. Выбор предмета моделирования зависит от цели исследования. Построение весьма широких и сложных моделей не является рациональным, хотя это противоречит сильно распространенному, особенно среди биологов, мнению о том, что модель должна возможно всесторонне отображать свойства оригинала. Но, как показывает практика моделирования, чем уже модель, чем глубже осуществляется разумная идеализация оригинала, тем сильнее оказываются полученные результаты и тем меньших усилий они стоят. Поэтому для исследовательских целей при моделировании столь сложных объектов, как растительные сообщества, не целесообразно стремиться к построению широких моделей, а лучше создавать узкие модели, отражающие разные стороны объекта. Так, для лесного фитоценоза возможно построение геоботанической, физиологической, таксационной, эволюционной, экологической и других математических моделей, позволяющих исследовать его в разных аспектах. Единый комплекс этих моделей явится комплексной математической моделью лесного



фитоценоза или его математической теорией. Этап качественного анализа заканчивается сформулированием отправных предпосылок (исходных концепций) относительно исследуемого объекта и разработкой на их основе предварительной рабочей гипотезы или логической структуры модели, подлежащей дальнейшему уточнению и математическому описанию.

Вторым этапом является выбор характеристик и параметров моделей. Характеристики: — это те переменные признаки, изучение которых с помощью модели является нашей целью. Характеристики соответствуют выходам модели, отражающим (для поставленной цели) свойства исследуемого объекта-оригинала. К параметрам модели относятся факторы, существенно влияющие на изучаемые характеристики. Параметры соответствуют входам модели. Ни одна модель не в состоянии описать все факторы, воздействующие на процесс развития изучаемой системы, отразить чрезвычайно разветвленный комплекс взаимосвязей. Поэтому одна из главных проблем моделирования сложного объекта для разработки прогноза его дальнейшего развития состоит в выборе параметров модели. Выбор параметров — дело очень ответственное. Модели с малым числом параметров не могут достаточно точно отражать особенности изучаемого объекта-оригинала. С другой стороны, чрезмерное увеличение числа параметров также не оправдывается. Это вызывает сильное увеличение трудоемкости как в разработке самой модели, так и ее практическом применении. Как справедливо отмечает Н. Д. Юберг [23], отсутствие в модели параметров несущественных не менее важно, чем присутствие всех существенных. В зависимости от цели исследования один и тот же параметр одного и того же объекта-оригинала может быть существенным или несущественным. Существенность влияния факторов, в зависимости от конкретных особенностей исследуемых объектов, проверяется различными методами (качественный анализ, графический анализ, дисперсионный анализ, корреляционный анализ и др.). Выбор параметров прогностической модели осложняется динамикой воздействия факторов. Фактор, не имеющий существенного значения на протя-

жении периода ретроспекции, через некоторое время может оказаться существенным и наоборот. Для формализации процесса выбора параметров О.Крастинь [34] считает необходимым соблюдение следующих указаний: отбирать только факторы (параметры), признанные существенными при качественном изучении данной проблемы на основе теории или гипотезы данной отрасли науки (принцип соответствия качественного и количественного анализ); использовать минимальное, но достаточное количество факторов (принцип простоты); представить каждый реальный фактор в модели в качестве ее параметра одним признаком, не используя одновременно синтетические показатели и составные их части (принцип неповторения); при использовании в качестве параметров относительных величин стремится к тому, чтобы знаменателем их был один и тот же показатель (принцип логического сложения); использовать факторы, имеющие с изучаемой характеристикой модели более тесную связь, чем между собой (принцип допустимой мультиколлинеарности). В отношении лесного биоценоза совокупность факторов (климатические, эдафические, антропогенные и др.) и изучаемых признаков биоценоза представляет собой единую динамическую систему, характер и интенсивность взаимосвязей компонентов которой изменяется во времени. В течение периода вегетации или онтогенеза сила влияния отдельных факторов принимает различное значение. В системе декартовых координат это изображается в виде ломаной линии, имеющей локальные экстремумы. Интервалы времени, соответствующие этим экстремумам, представляют собой активные периоды воздействия данного фактора. Знание активных периодов необходимо при выборе параметров модели. Без учета этих периодов вполне возможны ситуации, когда, судя по среднему уровню влияния, то есть в целом по всему периоду вегетации или онтогенеза, воздействие данного фактора признается несущественным, а иногда даже имеющим противоположное значение. Это означает, что без изучения активных периодов нельзя решить вопрос о существенности воздействия данного фактора, следовательно, о включении его в



число параметров модели. Сказанное также относится к практической реализации прогностической модели, так как сбор нужной информации по коротким интервалам времени является менее трудоемким, чем в целом по всему периоду вегетации или онтогенеза. Метод выделения активных периодов факторов воздействия на биологические системы предложен автором этой статьи [17]. Кроме того, при выявлении существенности воздействия факторов на биологические объекты следует учитывать следующее. В биологической науке установлено, что протекание физиологических процессов, в частности, прирастание биомассы, реагирует на улучшение благоприятствующих факторов только тогда, когда все необходимые для развития данного процесса факторы превышают определенный минимум. Если хотя бы один из факторов находится ниже своего минимума, то влияние увеличения всех остальных факторов оказывается несущественным. С точки зрения управления данной системой целесообразно в число параметров модели включать факторы, поддающиеся регулированию.

Третьим этапом моделирования является составление формализованного описания или первичной модели. Постановка задачи моделирования и разработка рабочей гипотезы (логической структуры модели) может и не иметь строгой математической формулировки, так как эти операции выполняются специалистами соответствующей области наук, практически без непосредственного участия математиков. И только на третьем этапе строгим математическим языком формулируются задачи исследования, а также в общем виде рабочая гипотеза. С этого этапа уже начинается "симбиоз" биолога и математика. К формализованному описанию прилагается систематизированная и уточненная совокупность исходных данных (начальной информации).

Четвертый этап моделирования — это преобразование первоначальной модели, так как описание соотношения между параметрами и характеристиками модели в общем виде еще не допускает ни аналитического, ни численного изучения ее. Поэтому взаимосвязи между параметрами и характеристиками



Если необходимо описать в виде конкретных формул или систем формул. На этом этапе используются различные математические дисциплины. Выбор математического аппарата производится с одновременным учетом природы моделируемого явления и возможностей реализации (анализа) модели — аналитического, дискретного, аналогового. В биологических исследованиях в настоящее время больше всего применяется математическая статистика, так как многие связи в биологических системах имеют стохастический характер. Переход от формализованного описания объекта к подходящей математической модели практически является одним из ключевых моментов в процессе моделирования, требующим от исследователя широкого математического и биологического кругозора и значительного опыта в применении математических методов для решения конкретных прикладных задач.

Пятый этап моделирования — это проверка адекватности модели. На конкретном биологическом материале с необходимым числом повторностей проверяется, с какой степенью точности модель отражает изучаемые признаки оригинала. Если при многократном повторении выход воспроизводится в пределах заданной точности, то модель считается достаточно адекватной. В случае недостаточной точности следует усовершенствовать модель. На этом этапе формулируются ограничения модели.

Шестой этап моделирования — изучение модели и экспериментирование с моделью. Основная цель этого этапа — выявление новых закономерностей и изучение возможностей прогнозирования, регулирования и управления поведением моделируемого объекта системы, а также возможностей оптимизации структуры и поведения этого объекта. В первую очередь стремятся к аналитическому исследованию модели. Однако воспользоваться аналитическим исследованием удается сравнительно редко, так как для сложных объектов, какими являются биологические системы, часто трудности преобразования первичной математической модели в систему уравнений, допускающую эффективное получение результатов, оказываются непреодолимыми. В таких

случаях переходят к применению численных методов; перспективность численного моделирования и, следовательно, математического моделирования гарантируется успешным развитием электронно-вычислительной техники. Следует согласиться с тем, что исследование с помощью модели - не разовый акт, а сложный, диалектический процесс, в ходе которого модели развиваются, обогащаются информацией о моделируемых объектах [24].

Моделирование биологических явлений в настоящее время сталкивается с серьезными трудностями. Ряд авторов [5, 24] отмечают неправильный подход к использованию методов и средств кибернетики, существовавший в недалеком прошлом. Серьезным недостатком является тот факт, что почти во всех методологических вопросах моделирования пока еще наблюдается большое многообразие, отсутствует четкий, единый подход к методологическим проблемам этого метода познания. Этот недостаток в большой степени затрудняет не только применение метода моделирования в разных науках, но и развитие самого метода [22]. Вследствие этого до сих пор не разработана общая теория моделирования сложных объектов, а в нашей литературе даже нет капитальной работы, в которой были бы освещены все основные вопросы моделирования в его различных аспектах, особенно биологических. В значительной мере развитие моделирования тормозится отсутствием единой классификации моделей и единой терминологии. Из-за отсутствия единого понимания моделей, единой классификации и терминологии ученые не всегда понимают друг друга, говоря даже об относительно несложных вопросах.

По мнению Г.Н. Зубенко и А.С. Кардашевой [12], изучение объектов сложной природы, связанное с ее математизацией, характеризуется несколько противоречивой ситуацией. С одной стороны, математическое моделирование жизненных процессов, призвано вскрыть те внутренние механизмы функционирования сложных систем, расшифровка которых на уровне чисто описательных средств явно не возможна. А с другой стороны, само математическое моделирование возможно лишь



при хотя бы минимальном знании свойств и структуры объекта, поведение или структуру которого требуется промоделировать. Л.А.Растрингин [26] противоречие между современной математикой и биологией видит в следующем: "Современная математика имеет дело со строгими понятиями, и потому объекты, с которыми ей приходится сталкиваться, должны быть очень точно определены и уложены в узкие рамки. Этот процесс формализации, то есть сужения объекта исследования, является одновременно и сильной, и слабой стороной математики. Сильной потому, что эта мера позволяет давать точные ответы на правильно поставленные вопросы. Но в этом и слабость, так как ответы даются на слишком узкий круг вопросов. В биологии положение обратное. Биологи тоже создают модели - биологические теории. Модели эти не столь строгие, как математические, они отвечают на широкий круг вопросов, которые можно задавать в связи с изучаемым биологическим явлением. Но ... ответы эти иногда расплывчатые, а порой и удручающе приближены" (стр. 6). Иными словами, одна из проблем математического моделирования жизненных явлений на современном этапе состоит в отсутствии соответствующего математического аппарата. Это делает актуальной разработку математического аппарата, адекватного широкому кругу весьма сложных биологических процессов и явлений [12, 24, 26]. Биология требует своей математики. Разработка таких разделов математики станет возможной только тогда, когда она явится в логическом отношении продолжением и обобщением всей предыдущей математики. В этом отношении особого внимания заслуживает применение в науках о жизни теории адаптации, теории экстраполяции, теории вероятности и математической статистики [26]; теории множеств, теории информации, теории алгоритмов [28]; теории вероятности, математической статистики, теории массового обслуживания, теории игр, теории линейного и динамического программирования, метода статистических испытаний, математической логики, теории автоматов, теории оптимизации, теории множеств, функционального анализа, теории групп, теории программирования и



др. [5].

Сближение математики и биологии должно стать движением как от объектов в живой природе, так и от математических методов и идей, которые могут быть использованы в данной области. При этом, поскольку математика остается средством познания природы объектов, а целью продолжает оставаться живая природа, то решающей стороной следует признать изучение собственных биологических закономерностей; в связи с этим Н.А.Бернштейн [7] отмечает, что в настоящее время созрела и необходимость, и возможность выращивания биологической математики изнутри, из самого существа тех проблем, которые ставят перед нами науки о жизнедеятельности.

Упомянутые проблемы имеют всеобщий характер. Но моделирование биологических объектов помимо этого имеет целый ряд особенностей и трудностей, существенно осложняющих применение этого метода. Современный исследователь и прогнозист биологических объектов должен иметь глубокие познания в области своей конкретной науки и математического аппарата и должен обладать ярко выраженной способностью к обобщению и творческим подходом к процессу исследования [33].

Метод моделирования многофункционален. Под функцией понимается способность модели давать исследователю возможность получать относительно оригинала знание определенного рода (описательное, прогностического и т.п.). Процесс познания подразделяется на эмпирический и теоретический этапы. Эмпирический этап познания в свою очередь подразделяется на : наблюдение, эксперимент, измерение, описание, обработку эмпирических данных и т.д. Теоретический этап состоит из интерпретации, объяснения, предсказания, ретросказания и т.д. По мнению этих авторов [35], моделирование с успехом применяется на всех вышеупомянутых этапах познания, то есть этот метод не связан с каким-либо отдельным этапом усредненной схемы исследования и в этом смысле он может быть назван универсальным методом. Н.А. Бернштейн [6] отмечает, что ценность моделирования состоит

в том, что оно играет наводящую роль, подсказывая новые направления исследований. Экспериментируя с моделях, исследователь постоянно выясняет, какие расхождения между моделью и оригиналом следует приписать влиянию случайных помех или ошибок и какие должны закономерно обуславливаться новыми параметрами или связями, ранее не принимавшимися в расчет. Более того, модели выполняют функцию критерия истины по отношению к теориям и гипотезам, которые реализуются в соответствующих моделях. Таким образом, модель может быть средством проверки рабочих гипотез объекта, принятыми при построении модели в качестве отправной концепции. Следовательно, модель служит критерием истинности наших знаний об исследуемом биологическом объекте [6, 24].

И.Б.Новик [22] подчеркивает двойную роль моделей в процессе познания: с одной стороны, с помощью моделей упрочивается уже возникшая теория (этому содействуют иллюстративная и трансляционная функции модели), с другой стороны, модель служит средством построения новой теории, давая первое аппроксимированное истолкование нового явления, полученного в процессе моделирования. Этот аспект роли модели реализуется главным образом на базе их следующих функций: заместительной, интерпретационной, аппроксимационной и эвристической.

И.А.Полетаев [25] изучению функций, выполняемых моделями, уделяет особое внимание. Он даже классифицирует модели по целям их использования. Он различает поисковую, портретную и исследовательскую, или теоретическую модели. Поисковая модель строится с целью проверки гипотезы или системы гипотез о неизвестной структуре оригинала. Если оригинал предстает перед исследователем как "черный ящик" и допускает наблюдение его функции, но не структуры, то модель может подтвердить, опровергнуть или уточнить гипотезу о классе структур, ответственный за наблюдаемую функцию. Портретная модель строится в том случае, когда структура моделируемого объекта достаточно хорошо





известна и может быть без труда "скопирована" в модели, но сам объект недоступен или труднодоступен для экспериментов и наблюдений. Исследовательская (теоретическая) модель строится с таким расчетом, чтобы не только демонстрировать на модели функционирование объекта в различных условиях, но и ставить задачи более сложные (изучение вопросов оптимизации, устойчивости и т.д.).

Следует согласиться с <sup>мнением</sup> ряда авторов [21, 33], что одной из наиболее важных является прогностическая функция моделей, позволяющая использовать модели в качестве инструмента прогнозирования. "От математической модели требуется не только способность описать правильно уже известные факты, но и возможность предсказания новых, еще не наблюдавшихся феноменов, а также прогноза особенностей протекания изучаемого явления" [21]. Математическая модель системы - это ее математическое описание, дающее возможность определить структуру, функции и взаимосвязь системы и ее элементов, а также комплексно отразить влияние изменений внешних факторов или какого-либо элемента системы на структуру и функции остальных элементов и системы в целом

[16]. Математическая модель позволяет определить состояние системы при любых значениях параметров и, не зависимо от того, у какого элемента системы непосредственно изменяются параметры. Поэтому с помощью достаточно адекватной модели можно прогнозировать состояние системы и в том случае, если один или несколько воздействующих факторов достигают своих 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 надо непосредственно воздействовать, чтобы довести систему в определенное заранее состояние, то есть решать задачи регулирования и управления системы. Кроме того, математические модели являются неотъемлемым звеном использования современной вычислительной техники. Эти свойства моделей выделяют

моделирование в качестве основного инструмента рационального прогнозирования сложных систем. Важнейшей проблемой улучшения этого инструмента является разработка общей теории моделирования и прогнозирования, сосредотачивающей в единое целое идеи и средства биологии, математики, системного и кибернетического подходов и, следовательно, позволяющей использовать новейшие достижения науки для производства надежных прогнозов развития биологических объектов.

### Литература

1. Акчурин И.А., Веденов М.Ф., Сачков Ю.В. О методологических проблемах математического моделирования в биологии.- В кн.: Математическое моделирование жизненных процессов .М.,1968.
2. Анохин П.К. Принципы и подходы к моделированию функциональных систем организма.- В кн.: Моделирование в биологии и медицине .Л.,1969.
3. Александрова В.Д. Растительное сообщество в свете некоторых идей кибернетики.- Бюлл. МОИП, отд. биол., 1961,66,3.М.
4. Бейли Н. Математика в биологии и медицине. М.,1970.
5. Берг А.И. Кибернетика - наука об оптимальном управлении.М.,1964.
6. Бернштейн Н.А. Предисловие.- В кн.: Моделирование в биологии .М.,1963.
7. Бернштейн Н.А. О перспективах математики в биок cyberнетике. Предисловие.- В кн.: В.И.Черныш, А.В.Напалков. Математический аппарат биологической кибернетики. М.,1964.
8. Веников В.А. Теория подобия и моделирование применительно в задачам электроэнергетики.М.,1966.
9. Винер Н. Кибернетика или управление и связь в живом и машине. Изд.2-е, М.,1968.
10. Геллер Е.С. Классификация моделей в биологии и медицине.- В кн.: Философские проблемы моделирования в



медико-биологических науках .Л., 1966.

11. Гильдерман Ю.И. Математизация биологии. М., 1969.
12. Зубенко Т.Н., Кардашева А.С. Математическое моделирование в биологии. - "Природа", 1966, 7.
13. Колмогоров А.Н. Предисловие к русскому изданию книги Эшби У.Р. Введение в кибернетику. 1959. М., 1959.
14. Косолапов В.В. Информационно-логический анализ научного исследования. Киев, 1968.
15. Лиена И.Я. Возможность применения аналоговых моделей в исследованиях древесных ресурсов. (Тезисы докладов к конференции молодых ученых-биологов, посвященной пятидесятилетию ВЛКСМ (Рига 28-29 ноября 1968 г.)). Рига, 1968.
16. Лиена И.Я. Системный подход и математическое моделирование в биогеоценологии. - Ботанический журнал, 1971, 5.
17. Лиена И.Я. Выделение активных периодов факторов воздействия на лесной биоценоз. Тезисы докладов Всесоюзного совещания по биогеоценологии и методам учета первичной продукции в еловых лесах. Петрозаводск, 1973.
18. Лафарг П. Воспоминания о Марксе. - В кн.: Воспоминания о Марксе и Энгельсе .М., 1966.
19. Ляпунов А.А. О математическом подходе к изучению жизненных явлений. - В кн.: Математическое моделирование жизненных процессов .М., 1968.
20. Морозов К.Е. Математическое моделирование в научном познании. М., 1969.
21. Гнеденко Г.В. В.И. Ленин и методологические проблемы математики. М., 1970.
22. Новик И.Б. О моделировании сложных систем. М., 1965.
23. Нюберг Н.Д. О познавательных возможностях моделирования. - В кн.: Математическое моделирование жизненных процессов .М., 1968.
24. Парин В.В., Бирюков Б.В., Геллер Е.С., Новик И.Б. Проблемы кибернетики. М., 1969.

25. Полетаев И.А. О математических моделях элементарных процессов в биогеоценозах.- Проблемы кибернетики. М., 1966.
26. Растринин Л.А. Современная математика и биология.- Наука и техника, 1966, 8.
27. Хорафас Д.Н. Системы и моделирование. М., 1967.
28. Черныш В.М., Напалков А.В. Математический аппарат биологической кибернетики. М., 1964.
29. Штофф В.А. О роли моделей в познании. Л., 1963.
30. Эшби У.Р. Введение в кибернетику. М., 1959.
31. Хотин Л. Возможности и ограничения прогностического моделирования.- В кн.: Теория и практика прогнозирования развития науки и техники в странах-членах СЭВ. М., 1971.
32. Глушков В.М. О кибернетике как науке.- В кн.: Кибернетика. Мышление. Жизнь. М., 1964.
33. Хорафас Д.Н. Системы и моделирование. М., 1967
34. Крастинь О. Вопросы экономической интерпретации и применения различных моделей экономических взаимосвязей производственных функций.- В кн.: Методы математической статистики и автоматизации расчетов. М., 1972.
35. Грязнов Б.С., Дынин Б.С., Никитин Е.П. Гносеологические проблемы моделирования.- Вопросы философии, 1967, 3



И.Я. Липа

## ОСОБЕННОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Общая методология и теория прогностики применима и для предвидения поведения биологических объектов. Однако биологические системы, в частности, геоботанические объекты, отличаются рядом существенных особенностей, которые необходимо учитывать при ретроспективном изучении, прогнозировании и верификации прогнозов. По мнению А.М. Мауриня [7], эти особенности определяются следующими группами факторов: 1) спецификой биологической формы движения материи и внутренних взаимосвязей и закономерностей самих биологических систем; 2) многообразием взаимного воздействия абиогенных и биологических систем; 3) влиянием ускоряющегося процесса антропогенного воздействия на биологические системы.

Даже простейшие живые организмы чрезвычайно сложны. Кастлер [7] отмечает, что дистанция между бактерией и человеком значительно меньше, чем, например, между бактерией и гигантской электронной машиной. Любая биологическая особенность оказывается функцией многих переменных. Биологические константы постоянно варьируют и само установление их часто возможно только методами статистических вычислений. Помимо этого, связи между компонентами, составляющими биологические объекты, очень разнотипны и в большинстве случаев выражаются системами нелинейных уравнений. В то время как для линейных дифференциальных уравнений построена исчерпывающая аналитическая теория, для нелинейных систем ничего подобного по общности не существует [5]. Большинство неживых сложных систем работают по принципу "автоматов без памяти" (воздействию на входе однозначно соответствует ответ на выходе, а предшествующие изменения

входов на ответ не влияют). Живые системы работают по-другому — они отвечают реакциями на внешние раздражители с учетом хранящихся в памяти сигналов, накопленных в течение индивидуального развития системы. А это значит, что при ретроспективном изучении биологических объектов, необходимо учитывать онтогенез. Кроме того, реальные живые системы функционируют не только в связи с внешними абиотическими условиями. Они концентрируют в себе и воспроизводят при размножении поток информации, не только приобретаемой в ходе индивидуального развития, но и получаемой от предков, т.е. информации об историческом развитии вида, органической частью которого является та или иная обособленная живая система. Если в других частях естествознания историей системы можно и пренебречь, то в биологии не учитывать филогенез нельзя. Н.В.Тимофеев-Ресовский и Р.Р.Ромпе [18] отмечают, что характерной особенностью биологических систем являются обратные связи с усилением, т.е. связи без соблюдения энергетической эквивалентности взаимодействия. Природа этого состоит в том, что отдельные звенья цепи взаимодействия настроены селективно на восприятие воздействий определенного вида, в результате восприятия которых развиваются процессы, превосходящие энергию внешних возбудителей. М.Ф.Веденов, В.И.Кремьянский [4] существенной особенностью организации биологических объектов как биокibernетических систем считают своеобразие их структурной архитектоники, их иерархическое строение. Более высокие уровни организации, включая управляющие, вопреки своему "верховному" положению, продолжают оставаться зависимыми в некоторой степени от нижележащих уровней. По мнению Н.М.Амосова [2] структура и функция сложных систем отражают принцип этажности. Государство и вирусная клетка одинаково состоят в конечном итоге из элементарных частиц, но количество этажей над ними различно. На каждом из них производится переработка информации, есть свои физические особенности. Эти этажи взаимосвязаны и оказывают влияние один на другой. При этом степень влияния различна и зависит от специфики



системы.

Н.А.Бернштейн, Е.С.Геллер, В.Н. Свиницкий [3] отмечают, что решающее отличие живых организмов от каких-либо объектов неживой природы заключается в целесообразности присущих им устройств и процессов, где главной и определяющей чертой живых систем выступает их активность, т.е. динамика целеустремленной борьбы посредством целесообразных механизмов. В.Д.Александрова [1], А.Б.Коган, Н.П.Наумов, В.Г.Режабек, О.Г.Чораян [8] пишут, что существенной чертой живой природы является саморегулирование. Саморегулирование осуществляется не хаотично, а в определенном направлении, в виде решения задач оптимизации кибернетической системы.

Любая попытка ретроспективного изучения и прогнозирования биологических объектов должна учитывать вышеупомянутые специфические черты живых систем. Кроме того, следует согласиться с И.В.Кармановой [6], что существенным препятствием успешного применения математических методов при изучении продуктивности и роста растений является существующий сейчас досадный разрыв между биоматематиками и биологами. Первые плохо представляют сущность биологических явлений и составляют модели, неадекватные действительности. Биологи обычно не умеют пренебречь второстепенными факторами, поэтому не могут выделить замкнутую систему и построить модель, так как плохо представляют возможности математических методов.

По мнению А.М.Мауриня и Б.Н.Зардова [12] в биологии могут быть применены все три категории прогнозирования (вероятностная, детерминистская, конвергентная). Однако преобладающее значение имеет вероятностная категория. В будущем следует ожидать большего развития конвергентного подхода. Что же касается видов прогнозирования, то в биологии могут иметь место как виды предвидения новых открытий, виды прогнозирования развития биологических систем (популяций, биоценозов, биосферы), онтогенетического и филогенетического развития и т.п., так и виды прогнозиро-

вания деятельности человека. В биологическом прогнозировании могут быть применены как рациональные, так и интуитивные методы. Успешно применяются межсистемный [11] и параметрические [5] методы прогнозирования.

Сущность межсистемного метода прогнозирования заключается в том, что по состоянию в момент производства прогноза одной системы (прогнозирующей) с определенной вероятностью определяется поведением в будущем другой системы (прогнозируемой) [12, 16]. При этом нужно, чтобы обе системы были между собой корреляционно связаны и с опережением во времени одной по отношению к другой. Период опережения (толерантности или инерции прогнозируемой системы) определяет величину периода прогноза. Увеличение этого периода возможно или выявлением третьей системы, которая по отношению к первой является прогнозирующей, или путем экстраполяции состояния первой системы. Инструментом прогнозирования служит математическая модель, адекватно отражающая закономерности воздействия прогнозирующей системы на прогнозируемую систему.

В качестве прогнозирующей системы для прогноза развития данной системы выделяется совокупность основных дивергентных и ревергентных факторов (как внешних, так и внутренних), к дивергентным факторам относятся такие, которые способствуют повышению организации и увеличению многообразия структуры и функций системы, увеличивают эффективность переработки и связывания ею вещества, энергии и информации. Таким образом, в отношении экосистемы к дивергентным факторам относятся увеличение числа синергетических биокомпонентов экосистемы, обеспечение оптимального режима водо- и газообмена и освещения, оптимальный уровень питания и количественного соотношения биологических элементов (особей) экосистемы и т.п.

К ревергентным факторам относятся уменьшение числа компонентов системы или привнесение туда новых компонентов с антагонистическими свойствами (по отношению к имеющимся компонентам). В отношении к лесному биоценозу такие



ми компонентами являются, например, большинство промышленных выбросов и устойчивые ядовитые вещества. К ревергентным факторам относятся изъятие из биотического круговорота веществ, необходимых для его оптимального состояния, ухудшение светового режима, газо- и водообмена и т.п.

Каждый из этих двух комплексов дивергентных и ревергентных факторов -- с помощью факторного анализа выражается одним количественным показателем, затем строятся ряды динамики для обоих конкурирующих комплексов в процентах от общей суммы количественных показателей этих комплексов. Наступление в ряду динамики комплекса ревергентных факторов устойчивого превышения 50 %-го уровня свидетельствует о том, что в будущем неизбежен регресс прогнозируемой системы.

Если не удастся выделить прогнозирующую систему, будущее изучаемой системы приходится предсказывать на основе информации, получаемой лишь из самой прогнозируемой системы. В этих случаях применяются разные способы параметрического прогнозирования или экстраполяция временного ряда состояний данной системы. Параметрический метод основан на знании специфических внутренних связей в структуре прогнозируемой системы. Для прогнозирования развития отдельных параметров (подсистем) применяются как межсистемный, так и параметрический метод и экстраполяция. Использование экстраполяции временных рядов в пределах параметрического прогнозирования по сравнению с ее применением в качестве самостоятельного способа отличается меньшим риском получить неверные результаты, так как экстраполируются не состояние всей системы в целом, а отдельных ее аспектов. Поэтому вероятность абсурдных ситуаций, вызванных переходом системы в новые качественные состояния, меньше. Эта вероятность абсурдных результатов снижается по мере повышения числа изученных существенных параметров. Основным инструментом прогнозирования является математическое моделирование.

При разработке прогнозов биологических объектов можно пользоваться разными способами прогнозирования. Наиболь-

Шее распространение получил экстраполяционный способ. Им пользуются при прогнозе динамики численности популяций, прироста биомассы, распространения вредителей и болезней растений, урожайности сельскохозяйственных растений, изменения тех или других характеристик биологического объекта. Экстраполяция как способ научного прогнозирования представляет собой продолжение временных или динамических рядов за пределами периода ретроспекции. Экстраполяционный способ основан на том предположении, что развитие рассматриваемого объекта будет происходить <sup>по</sup> законам его ретроспекции и он не будет подвержен качественным изменениям. По мере того, как в прогнозируемой системе накапливаются качественные изменения, достоверность экстраполяции быстро снижается. Поэтому применение экстраполяции как самостоятельного способа прогнозирования должно основываться на глубоком и всестороннем качественном анализе. Особую осторожность следует проявить в случае криволинейного тренда. Для формального повышения устойчивости тренда применяются разные способы линеаризации. Различают графическую (механическую) и аналитическую экстраполяцию. При этом, в зависимости от характера изменения прогнозируемого явления, используются различные аппроксимирующие формулы. Нередко применяется сложная экстраполяция, представляющая собой использование для аппроксимации сложных периодических функций. Однако, принципиальные недостатки экстраполяции как способа прогнозирования не устраняются посредством математической обработки ретроспективной информации и основным критерием является глубокое понимание существа изучаемого явления. Ряд авторов, учитывая преимущества экстраполяции, считает вполне возможным применение этого способа прогнозирования для предвидения развития биологических объектов. К таким преимуществам относятся: простота построения временной (трендовой) модели; быстрота получения прогноза на любой точке периода прогноза; сравнительно большая устойчивость (биологическая инерция, толерантность) основных тенденций развития биологических систем; достаточ-



ная точность описания этих тенденций посредством трендовых моделей; легкость определения возможных отклонений фактических величин от расчетных; значительно меньший объем ретроспективной информации, чем для факторного (параметрического) прогнозирования. Английские ученые Бейтс и Паркинсон утверждают, - не следует полагать, что наиболее сложная прогнозирующая модель непременно является лучшей [14]. В.Строженко [15] пишет " ... даже мощные специализированные прогнозные институты почти не применяют сложных методов прогнозирования. Очевидно, дело не столько в правильности методов, сколько в правильности идей" (стр. 75).

Интерполяционный способ менее известен в биологическом прогнозировании. Этим способом пользуются в тех случаях, когда неизвестен результат внутри периода ретроспекции или в промежутке между отдельными периодами ретроспекции. В биологии интерполирование применяется для предположительного выяснения звеньев филогенетического ряда, выпавших в прошлом [12, 13]. Интерполяцию просто произвести, если успешно подобрана эмпирическая формула.

Экспертные способы получения прогноза в основном использовались для предсказания ожидаемых открытий и достижений в биологии. Очевидно, при разработке глобальных прогнозов комплексных биологических явлений в той или другой мере придется пользоваться и этими способами.

Основной проблемой разработки любой частной прогностики является адаптация закономерностей производства прогноза общей прогностики (прогнозономии) к особенностям объектов, изучаемых рассматриваемой наукой. В этом смысле среди частных прогностик биопрогностика занимает особое положение. Формирование ее сталкивается с исключительно специфическими трудностями, вызванными чрезвычайным своеобразием комплекса особенностей и огромным разнообразием биологических объектов. Это существенно затрудняет обобщение и выявление системы теоретических конструктов биопрогностики, не говоря уже о общепрогнозомических закономерностях прогнозирования; следовательно, в методическом плане биологи-

ческое прогнозирование характеризуется большой раздробленностью и индивидуальным подходом к решению конкретных задач, так как в настоящее время биопрогностика переживает мучительный процесс формирования откровенных предположений.

### Литература

1. Александрова В.Д. Опыт анализа явлений саморегуляции в фитоценозе с точки зрения некоторых идей кибернетики.—В кн.: Применение математических методов в биологии, 2. Л., 1963.
2. Амосов Н.М. Моделирование сложных систем. Киев, 1968.
3. Бернштейн Н.А., Геллер Е.С., Свинцицкий В.Н. Биокибернетика и биология активности.—В кн.: Проблемы моделирования психической деятельности. Новосибирск, 1967.
4. Веденов М.Ф., Кремьянский В.И. О специфике биологических систем.—Вопросы философии, 1965, I.
5. Гноенский Л.С., Каменский Г.А., Эльсгольц Л.Э. Математические основы теории управляемых систем. М., 1969.
6. Карманова И.В. Применение математических методов при изучении продуктивности и роста растений.—В кн.: Количественные методы анализа растительности. Уфа, 1974.
7. Кастлер Г. Возникновение биологической организации. М., 1967.
8. Коган А.Б., Наумов Н.П., Режабек В.Г., Чораян О.Г. Биологическая кибернетика. М., 1972.
9. Лиепа И.Я., Мауриня Х.А., Поспелова Е.Г. Математическая модель физиологического нуля в отношении температуры для прогнозирования результатов интродукции растений.— "Учен. зап. ЛГУ им. П. Стучки", 1971, т. 153, Рига.
10. Мауриня А.М. Прогнозирование эволюции экосистем.—В кн.: Количественные методы анализа растительности. Уфа, 1974.



11. Мауринь А.М., Лица И.Я., Дрике А.Я. Математическое моделирование в прогнозировании семенной продуктивности хвойных растений.—В кн.: Половая репродукция хвойных, 2, Новосибирск, 1973.
12. Мауринь А.М., Тардов Б.Н. Об основных понятиях научного прогнозирования и их применении в биологии.—"Учен. зап. ЛГУ им. П. Случке", 1971, т. 153, Рига.
13. Розен Р. Принцип оптимальности в биологии. М., 1969.
14. Шапиро А. Моделирование и экстраполяция. Мировая экономика и международные отношения, 3, 1969.
15. Стороженко В. Искусство или наука.—"Наука и жизнь", 1971, 2.
16. Тардов Б.Н. Методология прогнозирования темпов научно-технического прогресса.—В кн.: Вопросы научного прогнозирования, 1968, 5, М.
17. Mauriņš A. Zinātniskās prognozēšanas metodoloģijas jautājumi. Mūsdienu bioloģijas metodoloģiskās problēmas, Rīga, 1971.
18. Тимофеев-Ресовский Н.В., Ромпе Р.Р. О статистичности и принципе усилителя в биологии.—"Проблемы кибернетики", 1959, 2, М.

А. М. Мауринь, В. И. Михайлова,  
Л. З. Ратсепа

### ТЕСТ ГЕТЕРОГЕННОСТИ ПОПУЛЯЦИИ ДЛЯ ПРОГНОЗА ЕЕ ДИНАМИКИ

Реакция популяции на воздействие того или иного экологического фактора определяется не только количественным уровнем этого фактора. Эта реакция в значительной степени зависит от чувствительности особей популяции к этому фактору и генотипической гетерогенности самой популяции. Например, чем гетерогеннее популяция, тем длительнее будет ее переход через ожидаемый критический порог (гибель от чрезмерно низких или высоких температур и влажности, от загрязнения среды и т.п.). Задача определения генотипической гетерогенности популяции возникает и при прогнозировании успешности селекционного отбора. Очевидно, чем более гетерогенной будет популяция, тем успешнее будет отбор по данному признаку.

Для характеристики генотипической гетерогенности популяции в генетике применяется такой показатель как "коэффициент наследуемости" ( $H^2$ ), который определяется по формуле (I)

$$H^2 = \frac{s_g^2}{s_g^2 + s_e^2} \quad (I)$$

где  $s_g^2$  - генотипическая дисперсия;  
 $s_e^2$  - экологическая (паратипическая) дисперсия.

Сумма генотипической и экологической дисперсии представляет собой фенотипическую (общую) дисперсию. При определении "коэффициента наследуемости" возникает задача выделения из общей дисперсии ее генотипической доли. Для этого необходимо подвергнуть популяцию отбору по данному



признаку и по реакции на отбор вычислить долю генотипической дисперсии. Кроме дисперсионного анализа для определения "коэффициента наследуемости" применяют также аппарат корреляционного и регрессионного анализов [1]. Однако такие подходы требуют смены поколений, что снижает их прогностическую ценность. К тому же применение этих способов для оценки естественных популяций весьма затруднительно.

Из немногочисленных способов определения наследуемости, не требующих смены поколений, наибольшую известность получил способ В. Шриганди. Этот способ основывается на предположении, что компонент изменчивости количественных признаков растений, определяемый условиями среды, подчиняется закономерности Х. Смита [2]. Отсюда следует, что если  $V_{(\bar{n})}$  - общая (фенотипическая) дисперсия групповых средних, то (2)

$$V_{(\bar{n})} = \frac{s_g^2}{n} + \frac{s_e^2}{n^b} \quad (2)$$

где  $n$  - число особей в группе;

$b$  - показатель, характеризующий гетерогенность условий среды данного участка (теоретически  $0 \leq b \leq 1$ ).

При умножении членов уравнения (2) на  $n$  получается (3)

$$nV_{(\bar{n})} = s_g^2 + n^{1-b} \cdot s_e^2 \quad (3)$$

Правая часть уравнения - это структура среднего межгруппового квадрата [4], т.е.

$$nV_{(\bar{n})} = \bar{Q}_A = s_g^2 + n^{1-b} \cdot s_e^2 \quad (4)$$

В генетически чистой линии  $s_g^2 = 0$  и для нее формула (4) принимает вид (5)

$$\bar{Q}_A = n^{1-b} \cdot s_e^2 \quad (5)$$

Поскольку в этом случае вся фенотипическая (общая) диспер-

сия представлена экологической,  $\bar{Q}$  (общий средний квадрат) равняется  $S_e^2$  и величину показателя гетерогенности среды ( $b$ ) можно определить по формулам (6) и (7).

$$n^{1-b} = \frac{\bar{Q}_A}{\bar{Q}} \quad (6)$$

$$b = 1 + \frac{\log \bar{Q} - \log \bar{Q}_A}{\log n} \quad (7)$$

Подход В. Шрикланди был использован В. Диллером и И. Рашалем [3] для определения коэффициента наследуемости количественных признаков у гороха без смены поколений. Эти авторы находят величину  $m = n^{1-b}$  в эталоне (генетически чистой линии) и приписывают ее всей экспериментальной популяции, состоящей из шести линий гороха, полагая, что " $b$ " и в популяции константа. Используя соотношение (5), они вычисляют экологическую дисперсию популяции. Генотипическую долю дисперсии они получали отнимая вычисленную  $S_e^2$  от общей дисперсии. Но, поскольку в ряде случаев вычисленная экологическая дисперсия оказалась значительно больше общей, то значение генотипической дисперсии (следовательно, и коэффициента наследуемости) получалось отрицательным. Кроме того, величина вычисляемого коэффициента наследуемости оказывалась в тесной зависимости от объема групп (т.е. структуры дисперсионного комплекса). Вычисленное нами по данным этих авторов значение показателя " $b$ " генетически чистой линии оказалось практически константой (т.е. не зависимой от объема групп дисперсионного комплекса). В популяции же количественное значение показателя " $b$ " изменялось в зависимости от объема групп.

Нами в 1974 и 1975 гг. были проведены специальные исследования по определению показателя " $b$ ", используя в качестве модельного объекта клоновую семенную плантацию сосны обыкновенной, заложенной в 1960-1961 гг. на территории Лесной опытной станции "Калснава" Латвийского НИИ лесохозяйственных проблем. Каждый из клонов здесь равномер-



но распределен по всей площади семенной плантации. Поскольку каждый клон был представлен сравнительно небольшим количеством экземпляров (20-30), мы не могли использовать такой признак как прирост в высоту по годам. Поэтому исследуемым количественным признаком мы избрали прирост боковых побегов 5-й мутовки (сверху) в длину за 1971, 1972, 1973 и 1974 гг. Прирост измерялся с точностью до 1 см. Оценка дисперсии количественных значений этого признака с помощью критерия Фишера показала, что ориентация боковых побегов по сторонам горизонта не оказывает существенного влияния на прирост их в длину ( $F_A = 1,2 < F_{0,05} = 3,01$ ).

Полученные результаты определения показателя "б" у клонов по приросту боковых побегов в длину за 1971 год приводятся в таблице I.

Таблица I  
Количественные значения показателя "б" по признаку "прирост боковых побегов в длину" у 5 клонов за 1971 год

Число групп ( $k_i$ )	Объем групп ( $n_i$ )	№ КЛОНОВ				
		К7-2	К7-11	К7-12	К7-14	К8-18
4	27	0,69	0,71	0,80	0,78	0,31
6	18	0,87	0,57	0,84	0,98	0,37
9	12	0,86	0,61	0,82	0,91	0,28
12	9	0,78	0,70	0,86	0,89	0,25
18	6	0,79	0,72	0,76	0,88	0,39
	$b_0$	0,80	0,66	0,82	0,89	0,32

Графически-аналитическая оценка данных таблицы I показывает, что количественное значение показателя "б" для одного и того же клона является константой, существенно не зависящей от структуры дисперсионного комплекса. Совершенно другой характер имеют значения этого показателя для условных популяций, составленных из обследованных пяти

(I) и восемнадцати (II) клонов (рис. I)

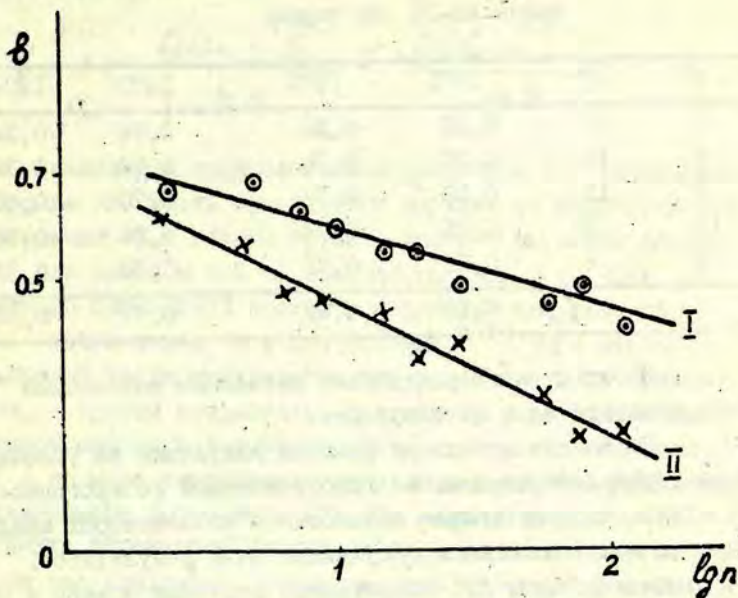


Рис. I. Зависимость количественных значений "б" популяций I и II от объема группы дисперсионного комплекса (эмпирические точки и расчетные прямые функции).

На графике (рис. I) видно, что количественные значения показателя "б" для популяции снижаются по мере увеличения объема групп дисперсионного комплекса. Биологической причиной этого явления очевидно является различная реакция клонов на одни и те же условия среды, как это убедительно показывают данные таблицы I. Кроме того, интересно отметить, что реакция одного и того же клона на гетерогенность среды меняется по годам (табл. 2). Однако и по годам количественное значение показателя "б" у клонов сохраняет характер константы, чего не наблюдается у популяции.



Таблица 2

Изменение показателя "  $b$  " по признаку "прирост боковых побегов в длину" у клона Ка-18 по годам

$K_i$	$n_i$	1971	1972	1973	1974
4	27	0,31	0,68	0,78	0,34
6	18	0,37	0,78	0,71	0,32
9	12	0,28	0,75	0,70	0,40
12	9	0,25	0,74	0,88	0,36
18	6	0,39	0,71	0,76	0,33
	$\bar{b}_o$	0,32	0,73	0,77	0,35

По этому альтернативному поведению показателя "  $b$  " можно отличить клон от популяции.

Но как по характеру реакции популяции на условия среды определить степень ее генотипической гетерогенности? Для ответа на этот вопрос остановимся на некоторых аналитических аспектах оценки полученных нами результатов. Подставим в формулу (7) структурные значения общего и межгруппового средних квадратов для клона (8) и популяции (9). Поскольку общий средний квадрат ( $\bar{Q}$ ) равняется общей дисперсии, которая для клона представлена лишь паратипической (экологической) дисперсией (поскольку  $s_g^2 = 0$ ), а межгрупповой средний квадрат  $Q_A = s_e^2 \cdot n^{1-b}$  то

$$b = 1 + \frac{\lg s_e^2}{\lg n} - \frac{(1-b) \lg n}{\lg n} - \frac{\lg s_e^2}{\lg n} \quad (8)$$

Произведя соответствующие сокращения, получим (при любых количественных значениях  $n$ ):  $b = b$ .

Совершенно иные результаты получим применяя формулу (7) к популяции, где  $\bar{Q} = s_e^2 + s_g^2$  и  $Q_A = s_e^2 \cdot n^{1-b} + s_g^2$ , т.е. наличие генотипической и паратипической дисперсий детермини-

рует принципиально иную структуру общего и межгруппового средних квадратов:

$$b = 1 + \frac{\lg(s_c^2 + s_d^2)}{\lg n} - \frac{\lg(s_c^2 \cdot n^{1-b} + s_d^2)}{\lg n} \quad (9)$$

Анализируя предполагаемое равенство (9) убеждаемся, что правая его часть существенно зависит от количественного значения  $n$  (объема групп), которое мы можем варьировать для одной и той же пробной площади (то есть при объективно одинаковой пестроте экологических условий). Так, с увеличением  $n$  (при условии  $n^{1-b} > 1$ ) второй член правой части предполагаемого равенства будет уменьшаться, а третий возрастет, следствием чего явится постепенное снижение количественного значения показателя "b" (по мере укрупнения групп дисперсионного комплекса), высчитываемого по формуле (7). Из анализа формулы (9), развернуто отражающей структуру "b", вытекает и другое важное для нас следствие. Очевидно, что причиной превращения равенства (8) в равенство (9) является включение генотипической дисперсии в структуру общего и межгруппового средних квадратов. При этом угол наклона прямой, аппроксимирующей линеаризованную функцию зависимости количественных значений показателя "b" и  $\lg n$ , будет прямо пропорционален относительной доле генотипической дисперсии исследуемого количественного признака. Следовательно, генотипически обусловленную долю разнообразия количественного признака в популяции можно характеризовать тангенсом угла наклона этой прямой к оси абсцисс.

Поскольку максимальное значение показателя "b" обычно не превышает 0,9, то для соблюдения условия  $n^{1-b} > 1$  допустима минимальная величина  $n = 6$  (так как  $6^{0,1} \approx 1,2$ ). Это ограничение подтверждается и экспериментальными данными, также как и другое ограничение  $K \geq 4$ . При нарушении этих ограничений наблюдается существенная абберация (ис-



кажение) функции зависимости количественных значений показателя "  $v$  " и  $\lg n$ .

Исходя из выше приведенных теоретических соображений и анализа результатов проведенных исследований, предлагаем следующий способ предварительной диагностики гетерогенности естественной популяции растений.

1. В ареале исследуемой популяции закладываются несколько (2-8) пробных площадей, которые разбиваются на равные по площади элементарные участки ( условные парцеллы) так, чтобы на каждом участке было бы не менее 6 растений данной популяции.

2. На каждом участке измеряются у всех растений количественные значения исследуемого признака ( например, число плодов на растении или длина годичного прироста в высоту).

3. По-разному ( по 1, 2, 4, 6, 8, 12, 16, 32 - не менее 7 вариантов ) группируя элементарные участки, строим дисперсионные комплексы количественных значений исследуемого признака. Используя данные дисперсионного анализа для каждого комплекса вычисляем показатель "  $v$  " по формуле (7).

4. По вычисленным значениям показателя "  $v$  " строим линейную функцию зависимости этого показателя от объема групп ( $\lg n_0$ ).

5. Вычисляем показатель генотипической гетерогенности ( $H_G$ ) исследуемого признака в популяции по формуле (10)

$$H_G = \frac{v_{\max} - v_{\min}}{\lg n_{\max} - \lg n_{\min}} \quad (10)$$

где  $v_{\max}$  и  $v_{\min}$  - наибольшее и наименьшее из количественных значений показателя "  $v$  " ( по функции, аппроксимированной прямой);

$n_{\max}$  и  $n_{\min}$  - наибольший и наименьший объем группы вариантов дисперсионного комплекса, соответствующие  $v_{\min}$  и  $v_{\max}$ ;

$K$  - коэффициент пропорциональности ( в наших исследованиях с *Pinus silvestris*  $K \approx 1$  ).

6. Доля разнообразия количественного признака, обусловленная экологическими факторами ( $H_E$ ), вычисляется по формуле (11):

$$H_E = 1 - H_G \quad (11)$$

Количественные значения показателей  $H_G$  и  $H_E$  находятся в пределах между нулем и единицей. Умножив значения этих показателей на 100 получаем генотипически и экологически обусловленное разнообразие исследуемого количественного признака в процентах.

Для дополнительной проверки адекватности предлагаемого способа и определения возможной амплитуды коэффициента пропорциональности продолжают исследования на клоновых семенных плантациях других древесных видов (*Picea abies* (L.) Karst., *Larix decidua* Mill) и сортах-клонах некоторых плодовых и цветочных растений.

#### Литература

1. Рокицкий П.Ф. Введение в статистическую генетику. Минск, 1974.
2. Shrikhande V.J. Some considerations in designing experiments on coconut tree:.-"Journal of the Indian Society of Agricultural statistics", 1957, 9, p.82-99.
3. Динлер В.Я., Рашаль И.Д. Метод определения коэффициента наследуемости количественных признаков у растений.-"Известия АН ЛатвССР", 1973, 7, с.20-23.
4. Снедекор Дж.У. Статистические методы в применении к исследованиям в сельском хозяйстве и биологии. М., 1961.



2к

О. Н. Шалак

## ОЦЕНКА ИНДЕКСОВЫХ МЕТОДОВ ДЕНДРОХРОНОЛОГИЧЕСКИХ И ДЕНДРОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В настоящее время существует множество методик изучения цикличности прироста древостоя. Эта цикличность обусловлена многими факторами, одним из них является и солнечная активность. Но независимо от фактора, вызывающего колебания прироста древостоя, проблема эта представляет теоретический и практический интерес. Теоретический, так как лес можно рассматривать как "хранитель информации", накопленной в течение длительного времени [?], это обусловлено тем, что ширина годичных колец является одним из наиболее чутких показателей изменения условий произрастания дерева [3].

По информации, "записанной" в годичных кольцах, можно судить об изменениях солнечной активности, климата, происходивших многие десятилетия назад.

Практический интерес — так как установленные закономерности прироста позволяют предвидеть реакцию леса на те или иные изменения, а полученные данные могут быть использованы в лесохозяйственных, гидромелиоративных целях, при прогнозировании прироста насаждений [1].

Из методов, применяемых для решения этих задач, особенно важны именно индексные методы. В зависимости от выбранного метода проведения исследования, исследователь может получить и весьма различные результаты, что, в свою очередь, отразится и на выводах этого исследования.

Поэтому выбор методики кроме прочих соображений (например, оценка методики с точки зрения трудоемкости обработки исходных данных, графических построений) должен быть обусловлен целью проводимого исследования.

Но еще до выбора методики исследователь должен избрать объект и показатель прироста древостоя, которые так-

же будут наиболее соответствовать целям данного исследования.

На основе обработки массового материала наилучшим показателем прироста древостоя признан показатель прироста древесины по объему ( $Z_v$ ), выражаемый в м<sup>3</sup>, так как этот показатель является интегральным и включает в себя такие показатели прироста, как прирост древостоя по диаметру ( $Z_d$ ), по высоте ( $Z_n$ ), причем, целесообразнее использовать значения показателя не для отдельных деревьев, а суммарные значения для всего древостоя в целом. Последнее обусловлено тем, что имеются деревья, по-разному реагирующие на изменение внешних условий произрастания. По степени реакции деревья можно разделить на 3 группы: четко реагирующие на изменения условий произрастания, реагирующие в меньшей степени и реагирующие лишь незначительно [4]. Ряд авторов отмечает, что в особо неблагоприятные годы у отдельных деревьев могут выпадать отдельные годовые кольца; таким образом, при определении цикличности произойдет смещение кривой роста. В целом же по древостою годовое кольцо не выпадает, а лишь уменьшится его суммарное значение, сдвига кривой не произойдет.

Выбор объекта исследования также определяется целями работы. Так, например, для дендрозоологических исследований необходимо применять деревья с экстремальными условиями произрастания, такие, как сосны, растущие на сухих местах или на болотах. На кривых роста этих же деревьев наиболее четко отображаются процессы, обусловленные и солнечно-земными связями [4].

Итак, установлены цели исследования, его объект, показатель прироста древостоя, по которому проводится исследование. Требуется выбрать соответствующую методику.

В зависимости от типа проводимого исследования, т.е. от его цели, к индексным методам предъявляются различные требования. При проведении дендрозоологических исследований важно, чтобы были отмечены все изменения, возникающие под воздействием внешнего фактора или комплекса факторов, на



индексных кривых должны быть отражены все колебания прироста и все циклы этих колебаний (что особенно важно при проведении гелиобиологических исследований). Таким образом можно сказать, что в такого рода исследованиях необходима высокая степень синхронизации с фактическим ходом кривой абсолютных значений прироста.

В дендрохронологических исследованиях важен факт элиминации возраста.

Все существующие индексные методы изучения цикличности прироста древостоев отличаются по выбору базисной линии. Кратко остановимся на этом понятии. Изменение внешних условий произрастания, как уже говорилось выше, сказывается на ширине годовых колец, причем амплитуда колебаний значительна и сказывается на объеме древесного прироста. Абсолютная величина годового слоя дерева, кроме внешних факторов, зависит от типа леса, возраста дерева, его породы, то есть становится невозможным сравнение результатов, полученных от различных объектов. Для того, чтобы полученные результаты можно было сопоставить, вычисляют индексы ширины слоев, то есть выражают в процентах отклонения фактической ширины от определенной средней для каждого отдельного года [2]. Главное требование, предъявляемое к индексам ширины годовых колец, — правильное отражение цикличности изменения ширины годовых слоев под воздействием колебаний климатических условий [8], то есть в дендроэкологических исследованиях.

В дендрохронологических исследованиях важна элиминация возраста, так как в зависимости от возраста древостоев его прирост различен.

Математически индексы можно представить следующим образом:

$$Ind = \frac{x_i}{\bar{x}} \cdot 100\% \quad (I)$$

где  $Ind$  — индекс ширины годового слоя;

$x_i$  — абсолютное значение ширины годового слоя в

$l$  - том году;

$\bar{x}$  - среднее значение ширины годичного слоя для данного года.

Многолетние средние величины определяются путем выравнивания ряда ширины годичных колец [8]. Работа по выравниванию рядов ширины годичных колец начата еще в прошлом столетии, и к настоящему времени разработано множество способов, но ни один из них не стал общепринятым, и поиски продолжаются [9]. В зависимости от выбора способа выравнивания получаем различные кривые - базисные линии. Нами были рассмотрены следующие методики, различающиеся именно по выбору базисной линии.

1. Метод Дугласа. Назван по имени американского ученого, одним из первых занявшегося дендрохронологическими исследованиями. После многолетней работы сделал вывод, что за базисную линию следует принять прямую, которая выражает и среднюю годовую изменчивость ширины годичных слоев в зависимости от возраста. Расчет индексов ведется по формуле (1), где  $\bar{x}$  - величина, постоянная для всего ряда годичных слоев. Те отрезки рядов ширины годичных колец, где несомненно отражены воздействия пожаров и других вредных факторов, Дуглас исключает из программы исследований. Дуглас считает, что кривая старения должна быть представлена прямой или кривой с минимальным изгибом, так как в этом случае отражаются все циклы [8]. Ряд авторов с этим согласны, другие утверждают, что на различных этапах рост дерева неодинаков, поэтому прямая не будет отражать этих тенденций.

2. Метод Неслунда. В его основе лежит прием выравнивания ряда ширины годичных слоев с применением зависимости гиперболы, которая и является в данном случае базисной линией. 9. Метод впервые применил Naslund, сейчас имеет применение в ЧССР, ГДР и других европейских странах [10]. На графике откладываются абсолютные значения ширины годичных слоев за каждый год, для уменьшения разброса точек рекомендуется откладывать средние значения показателя за не-



сколько лет [II]. По этим точкам проводится гипербола, от которой по формуле (I) вычисляются индексы, причем значения изменяются в зависимости от возраста. Для точного расчета гиперболы применимы ЭВМ.

По мнению [9], выравнивание с помощью гиперболы не позволяет во всех случаях достаточно отделить воздействие климатических условий на образование годовых слоев от влияния не климатических факторов. Кроме этого, не обеспечивается сохранение связи выравненных величин с фактической шириной годовых слоев по всей протяженности ряда.

3. Метод скользящих средних. Впервые применен Анштадтом в 1938 году в дендрохронологических исследованиях. Ордит и Рудин применили его в дендроклиматических исследованиях [3], в СССР одним из первых метод использовал В.Е.Рудаков. Битвинскас предлагает для древесных пород средней полосы СССР (Европейская часть) 20-летние скользящие кривые. Способ заключается в следующем: серия данных ширины годовых колец суммируется по пятилетиям; два соседних пятилетия суммируются по десятилетиям, а десятилетние суммы - по двадцатилетиям. Затем эта же операция проводится с кольцами со следующего пятилетия и т.д. до конца кривой, как бы скользя передвигаясь по пятилетиям. Данные двадцатилетних сумм вписываются между I0 и II, I5 и I6, 20 и 2I годовыми слоями. Делением на 20 получают среднюю ширину годовых слоев в этом месте. Данные точки соединяются плавными кривыми, которые и определяют на графике среднюю ширину годовых слоев. Затем определяют индекс.

Метод имеет ряд недостатков и подвергался критике уже одним из своих создателей - В.Е.Рудаковым [5]. Битвинскас и Колчин отмечают, что расчет средних многолетних радиальных приростов по 5, 10, 15-летним скользящим не дает удовлетворительных результатов, так как такие кривые выравнивают в достаточной мере изменения, происходящие под влиянием комплекса климатических факторов. Авторы не указывают причин недостаточного выравнивания.

[9] отмечает тенденцию выравненных величин тесно сле-

довать за фактическим радиальным приростом, что при определении индексов может привести к завуалированию циклов колебаний годовичных слоев. Затруднена возможность определения выравненных величин для начала и конца ряда ширины годовичных слоев. Скользящие средние правильно применять для нивелирования известных колебаний, а не для определения исходных средних норм [6].

Таким образом можно отметить, что метод более применим для выравнивания циклов, а не для их выявления.

Ряд исследователей предлагает в качестве базисных линий сложные кривые. К таким методам относятся два ниже рассматриваемых.

4. Метод Фильтрозе. Заключается в том, что время жизни дерева (а затем и целого древостоя) разделяется на этапы, различающиеся по темпам прироста. Внутри этапа рассчитывается многолетняя норма прироста, а затем оценивается величина отклонений фактического прироста от нормы. В пределах каждого этапа динамика роста выражается некоторой функцией, вид которой изменяется при переходе к другому этапу. При отыскании интервалов, в пределах которых функция не изменяется, используется графический анализ с применением поллогарифмической и логарифмической сеток: на оси абсцисс откладывают логарифм возраста (лет) дерева, а на оси ординат - соответствующие размеры (или их логарифмы) [6]. Расчет индексов ведется обычным способом. Отзывы о методике в литературе не найдены.

5. Метод Шпалте. В его основе лежит прием выравнивания рядов наблюдений при помощи постоянных сумм отрезков выравнивания. Процесс выравнивания разбивается на 3 этапа: I - определение исходных величин, при этом устанавливается постоянная сумма ширины годовичных слоев отрезков выравнивания; II - определение длины отрезков выравнивания и соответствующих средних величин; III - выравнивание всего ряда ширины годовичных слоев на основе средних величин путем линейной интерполяции и экстраполяции.



На I этапе определяются:

1) число лет среднего отрезка. Это число определяет длину и количество отрезков выравнивания. Установлено, что наилучшим является применение числа лет среднего отрезка, равное 20.

2) количество отрезков. Определяется по формуле

$$K = \frac{N}{T} \quad (2)$$

где  $N$  - общее количество годовичных слоев;

$T$  - число годовичных слоев среднего отрезка;

$K$  - число отрезков.

3) постоянная сумма ширины годовичных слоев в одном отрезке.

$$\sum y_0 = \frac{\sum_{i=1}^N y_i}{K} \quad (3)$$

где  $y_0$  - постоянная сумма ширины годовичных слоев;

$y_i$  - ширина годовичного слоя;

$\sum_{i=1}^N y_i$  - общая сумма ширины годовичных слоев.

На II этапе определяются:

1) суммируются ширины годовичных слоев до тех пор, пока

$$\sum y_i = \sum y_0$$

2) определяется число лет на этом отрезке;

3) находится среднее значение ширины годовичного слоя данного отрезка:

На III этапе:

1) найденные средние значения ширины годовичных слоев наносятся на середины отрезков выравнивания;

2) путем линейной интерполяции и экстраполяции определяются средние значения ширины годовичных слоев для всех календарных лет [9].

Определение индексов проводится обычным способом.

Автор методики отмечает следующие ее преимущества: возможность выравнивания любого ряда ширины годовичных слоев с сохранением связи выравненных величин с фактической шириной годовичных слоев по всей протяженности ряда; возможность при-

менения ЭВМ; простота расчетов в случае обработки без применения ЭВМ.

Все описанные методики были применены для выявления цикличности динамики прироста древостой на одной и той же пробной площади. Тип леса - сосняк осоково-тростниковый возрастом в 90 лет, бонитет II, полнота насаждения - 0,7.

Оценка методик с точки зрения применимости в дендроэкологических исследованиях проводилась 2-мя способами, в которых устанавливалась степень синхронизации:

1) индексные кривые показателя  $\sum_v$  сравнивались с ходом кривой абсолютных значений этого показателя. Степень синхронизации оценивалась по коэффициенту синхронизации  $A$ :

$$A = \frac{n-k}{n}$$

где  $A$  - коэффициент синхронизации кривых;

$n$  - число сравниваемых точек;

$k$  - число точек, не совпадающих в ходе кривых.

Для наглядности результаты представлены в виде диаграммы, из которой видно, что наилучшая степень синхронизации достигается при применении методики Дугласа <sup>(рис. 1)</sup>. Остальные по степени синхронизации можно расположить следующим образом: метод Неслунда, метод скользящих средних, метод Шпалте, метод Фильрозе. Однако коэффициент  $A$  учитывает лишь тенденции к совпадению или несовпадению кривых, но не дает количественной оценки разности их хода. Поэтому применялся и второй метод.

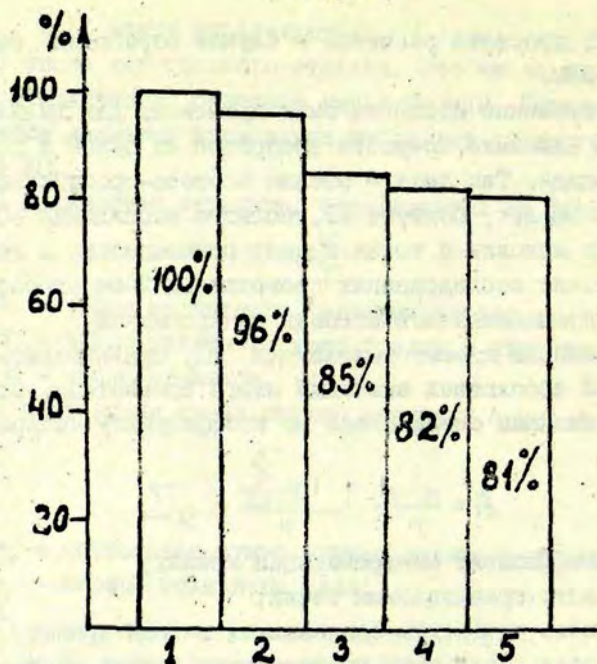
2) индексные кривые показателя  $\sum_v$  оценивались по критерию  $\chi^2$ :

$$\chi^2 = \frac{(n_i - n_t)^2}{n_i}$$

где  $n_i$  - абсолютные значения  $\sum_v$  на графике (мм);

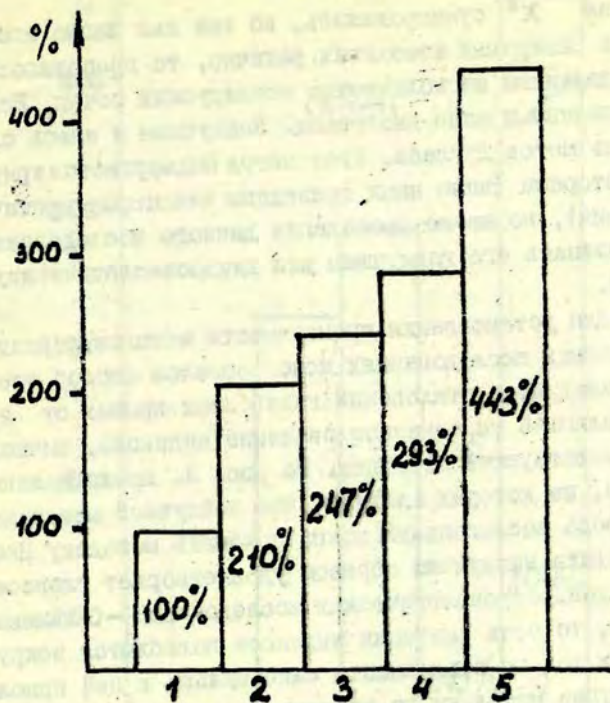
$n_t$  - соответственные значения индексов (мм) на графиках, построенных по разным методикам.





- 1-методика Дугласа.
- 2-методика Неслунда.
- 3-метод скользящих средних.
- 4-методика Шпалте.
- 5-методика Фильрозе.

Рис. I. Диаграмма коэффициентов синхронизации, вычисленных по различным методикам



- 1-методика Дугласа.
- 2-метод скользящих средних.
- 3-методика Неслунда.
- 4-методика Шпалте.
- 5-методика Фильрозе.

Рис.2. Диаграмма оценки по критерию  $\chi^2$

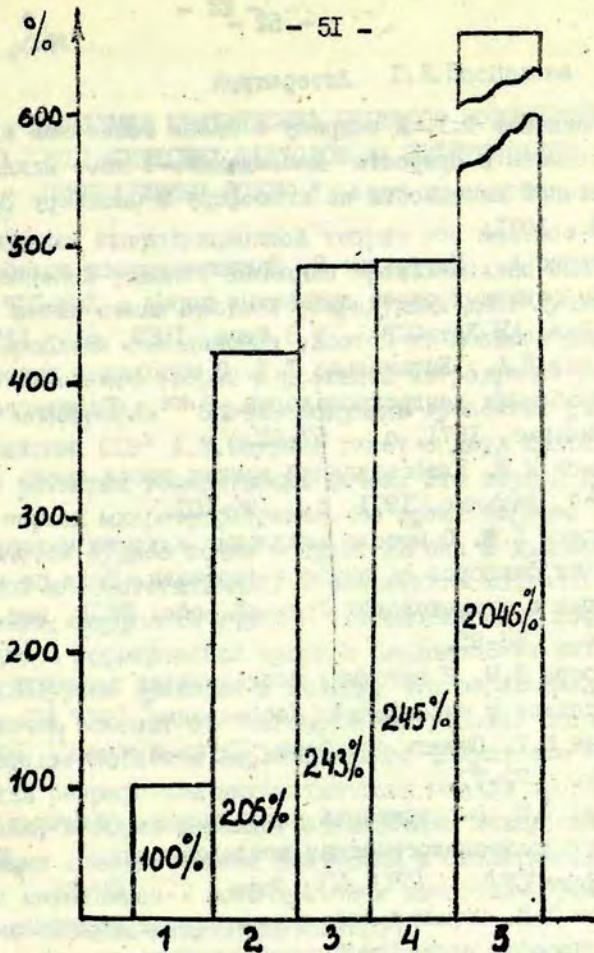


Значения  $\chi^2$  суммировались, но так как число исследуемых точек в различных методиках различно, то проводилось усреднение делением на количество исследуемых точек. Результаты представлены в виде диаграммы. <sup>(рис. 2)</sup> Наилучшим и здесь следует признать метод Дугласа. Этот метод подвергается критике многими авторами (выше нами приведены некоторые критические замечания), но после проведения данного исследования следует признать его наилучшим для дендроэкологических исследований.

Для установления применимости методик в дендрохронологических исследованиях использовался способ оценки по суммам квадратов отклонений индексных кривых от прямой, представляющей усредненное значение индексов, вычисленных по соответствующей методике. На рис. 3. представлены результаты, из которых следует, что наилучшей методикой для такого рода исследований можно признать методику Неслунда. Эта методика наилучшим образом удовлетворяет главному требованию дендрохронологических исследований — элиминацию возраста, то есть значения индексов колеблются вокруг прямой, а их ход по возможности максимально к ней приближается. Другие методики по степени применимости можно рассматривать в следующей последовательности: метод Шпалте, метод Фильрзе, метод скользящих средних, метод Дугласа. Однако, вследствие больших различий (рис. 3) применение других методов считаем нецелесообразным, а применение методики Дугласа и недопустимым.

Подводя итоги, можно сказать, что следует четко формулировать цель исследования, в зависимости от нее можно выделить 2 типа исследований: дендроэкологические и дендрохронологические. Для каждого типа исследований имеется своя наилучшая методика, которая и будет наилучшим образом соответствовать цели исследования и даст более правильные его результаты.

В заключение выражаю искреннюю благодарность доценту И.Я.Либе, под руководством которого была выполнена данная работа.



- 1 - методика Неслунда.
- 2 - методика Шпалте.
- 3 - методика Фильрозе.
- 4 - метод скользящих средних.
- 5 - методика Дугласа.

° Диаграмма оценки методов по суммам квадратов отклонений



### Литература

1. Битвинскас Т.Т. К вопросу о связи солнечной активности, климата и прироста насаждений.—В кн.: Влияние солнечной активности на атмосферу и биосферу Земли, М., 1971.
2. Звиедрис А., Матузанис Я. Закономерности колебаний ширины годичных слоев древесных пород в ЛатвССР.—В кн.: Изв. АН ЛатвССР, № 8, Рига, 1962, с. 117-128.
3. Колчин Б.А., Битвинскас Т.Т. О методах и современных проблемах дендрохронологии.—В кн.: Радиоуглерод, Вильнюс, 1971, с. 57-62.
4. Розанов М.И. Классификация кривых роста сосны обыкновенной, Вильнюс, 1971, с. 99-101.
5. Рудаков В.Е. О методе выявления влияния метеорологических факторов на прирост деревьев.—Докл. по метеорологии и климатологии Географ. общ. СССР, вып. 2, 1966, с. 86-95.
6. Фильрозе Е.М. К методике исследования динамики роста деревьев и насаждений.—"Лесоведение", 1967, № 2.
7. Шишина Ю.Г. Память биосферы.—"Наука и жизнь", 1973, № 3, с. 72-77.
8. Шпалте Э.П. Выравнивание рядов ширины годичных колец в дендрохронологических исследованиях. — "Изв. АН ЛатвССР" 1971, № 11, Рига, с. 29-35.
9. Шпалте Э.П. Выравнивание рядов ширины годичных слоев способом постоянных сумм отрезков выравнивания.—В кн.: Дендроклиматохронология и радиоуглерод (Материалы Второго Всесоюзного совещания по дендрохронологии и дендроклиматологии), Каунас, 1972, с. 184-187.
10. Vinš В. Promēlīvost šīfky letokruhu vzhledus k skol ekoloģiskum podmīnkam. Zpravy dendroloģiske sekce ČSBS4, 1960.
11. Vinš В. Použití letokruhových analyz k prokazu kontrových škod. Čast I Metodicky prispěvek k Zpracování letokruhových analyz. Gesnietvi 8, 1961.

2п.

Г. Е. Поспелова

ВЫЯВЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКИХ ПЕРИОДОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ  
ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ДЕТЕРМИНАЦИЮ  
ГЕНЕРАТИВНЫХ ПОЧЕК У *ACER TATARICUM* L.

С развитием интродукционной теории все большее число исследователей уделяет внимание происхождению семян, отмечая, что посев семян местной репродукции дает лучшие результаты. Проблема семенения экзотов становится одной из основных в комплексе теории и практики интродукции растений [1]. В монографии "Опыт интродукции древесных растений в Латвийской ССР" А. М. Мауринь пишет о двух критических периодах в развитии генеративных почек. Это период детерминации и период микроспорогенеза. Во время первого периода определяется судьба почки - будет ли она в дальнейшем генеративной или вегетативной. В результате многолетних экологических, морфологических и гистологических исследований процесса формирования органов плодоношения интродуцентов А. М. Мауринь приходит к выводу, что образование генеративных почек зависит от благоприятных условий погоды [1].

На кафедре ботаники Биологического факультета ЛГУ им. П. Стучки разработана математическая модель прогноза плодоношения, которая отражает взаимосвязь между наиболее существенными климатическими факторами и биологическими показателями маточников - количеством и качеством урожая шишек и семян хвойных интродуцентов [2, 3].

Целью данной работы является определение периода детерминации почек в зависимости от экологических факторов среды и использование их в математической модели прогноза плодоношения на примере клена татарского (*Acer tataricum* L.) в Латвийской ССР.

В качестве влияющих на плодоношение экологических факторов были выделены следующие: А. продолжительность солнечного сияния в часах; Б. минимальный за сутки дефицит



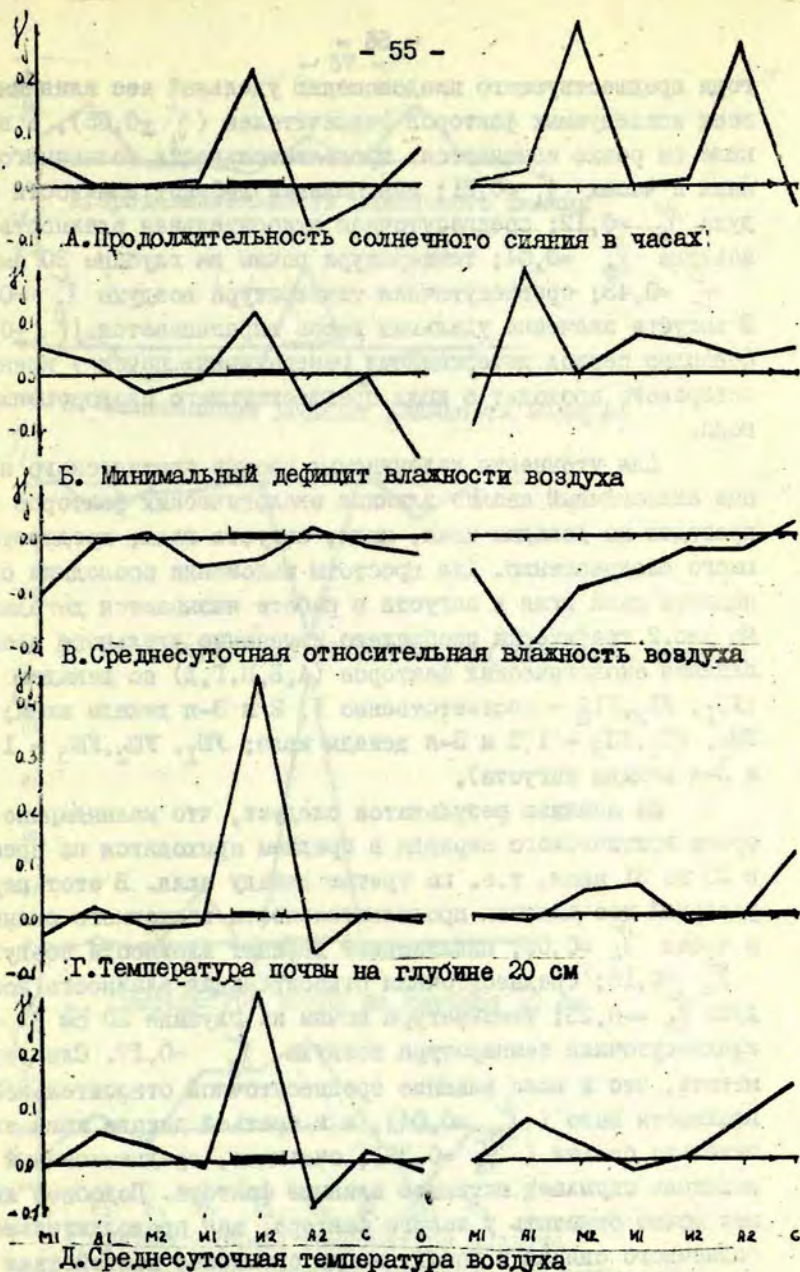
влажности воздуха в мб; В. среднесуточная относительная влажность воздуха в %; Г. температура почвы на глубине 20 см в  $t^{\circ}\text{C}$ ; Д. среднесуточная температура воздуха в  $t^{\circ}\text{C}$ . Материалы взяты из таблиц декадных сельскохозяйственных наблюдений по городу Добеле Латвийской ССР, который расположен в центральной части республики. Такое месторасположение позволяет определить взаимосвязь экологических факторов со средними по Латвии данными и степени обилия плодоношения у клена татарского. Степень обилия плодоношения определялась с 1954 по 1974 годы по среднему количеству плодов на один погонный метр модельной ветви [4].

*Acer tataricum* L. является удобным модельным объектом, так как довольно часто встречается в озеленительных посадках по всей территории Латвийской ССР. Вполне зимостоек, ежегодно цветет и плодоносит. Цветение наступает в мае-июне, семена созревают в конце августа-начале сентября.

Определение периода детерминации и составление прогноза плодоношения проводилось по разработанному И.Я. Лиепой

[5,6] алгоритму определения удельного веса влияния факторов воздействия на регрессент. В основе алгоритма лежит метод множественной регрессии. В качестве регрессента (результативного признака) использовались данные за 18 лет о степени обилия плодоношения, факториальными признаками служили среднемесячные значения экологических факторов А, Б, В, Г, Д. На рис. I графически изображено изменение удельного веса влияния экологических факторов в год, предшествующий плодоношению (левая часть рисунка) и в год плодоношения (правая часть рисунка) клена татарского по месяцам (м1-март, а1-апрель, м2-май, и1-июнь, и2-июль, а2-август, с-сентябрь, о-октябрь). В период с ноября по март удельный вес влияния экологических факторов не изучался, так как в этот период по литературным данным [7] почки у клена татарского находятся в покое.

Влияние экологических факторов на плодоношение меняется в течение двух лет. На рис. I видно, что до июля



А. Продолжительность солнечного сияния в часах!

Б. Минимальный дефицит влажности воздуха

В. Среднесуточная относительная влажность воздуха

Г. Температура почвы на глубине 20 см

Д. Среднесуточная температура воздуха

Рис. I. Выделение активных периодов экологических факторов воздействия ( по месяцам)



года предшествующего плодоношению удельный вес влияния всех исследуемых факторов незначителен ( $\gamma_j \pm 0,05$ ), а в июле он резко изменяется: продолжительность солнечного сияния в часах  $\gamma_A = 0,21$ ; минимальный дефицит влажности воздуха  $\gamma_B = 0,12$ ; среднесуточная относительная влажность воздуха  $\gamma_C = 0,04$ ; температура почвы на глубине 20 см  $\gamma_D = 0,43$ ; среднесуточная температура воздуха  $\gamma_E = 0,31$ . В августе значение удельных весов выравнивается ( $\gamma_j < \pm 0,1$ ). Очевидно период детерминации генеративных почек у клена татарского проходит в июле предшествующего плодоношению года.

Для уточнения календарных сроков критического периода аналогичный анализ влияния экологических факторов был проведен по декадам июня, июля, августа года, предшествующего плодоношению. Для простоты изложения последние одиннадцать дней июля и августа в работе называются декадами. На рис.2 графически изображено изменение удельного веса влияния экологических факторов (А, Б, В, Г, Д) по декадам (У1<sub>1</sub>, У1<sub>2</sub>, У1<sub>3</sub> - соответственно 1, 2 и 3-я декады июня; У2<sub>1</sub>, У2<sub>2</sub>, У2<sub>3</sub> - 1, 2 и 3-я декады июля; У3<sub>1</sub>, У3<sub>2</sub>, У3<sub>3</sub> - 1, 2 и 3-я декады августа).

Из анализа результатов следует, что календарные сроки критического периода в среднем приходятся на время с 20 по 31 июля, т.е. на третью декаду июля. В этот период удельный вес влияния продолжительности солнечного сияния в часах  $\gamma_A = 0,05$ ; минимальный дефицит влажности воздуха  $\gamma_B = 0,16$ ; среднесуточная относительная влажность воздуха  $\gamma_C = 0,29$ ; температура почвы на глубине 20 см  $\gamma_D = 0,50$ ; среднесуточная температура воздуха  $\gamma_E = 0,17$ . Следует отметить, что в июле влияние среднесуточной относительной влажности мало ( $\gamma_{Bc} = 0,04$ ), а в третьей декаде июля значительно больше ( $\gamma_{Bc} = 0,30$ ), очевидно, среднемесячный показатель скрывает истинное влияние фактора. Подобное явление можно отметить у такого фактора, как продолжительность солнечного сияния в часах, когда суммарное воздействие солнечных лучей за месяц имеет большее влияние на семеношение,



А. Продолжительность солнечного сияния

Б. Минимальный дефицит влажности воздуха

В. Среднесуточная относительная влажность воздуха

Г. Температура почвы на глубине 20 см

Д. Среднесуточная температура воздуха

Рис. 2. Выделение активных периодов экологических факторов воздействия ( по декадам).



чем за каждую декаду в отдельности. Эти результаты говорят о том, что различные экологические факторы оказывают влияние в критический период в разное по продолжительности время. К такому же выводу пришли и авторы математической модели прогнозирования А.М.Мауринь, И.Я.Лиена и А.Я.Дрике [2,3], однако они считают возможным использование в математической модели прогнозирования средних сроков критических периодов. За этот срок мы приняли третью декаду июля года, предшествующего плодоношению.

Для составления прогноза степени обилия плодоношения у клена татарского в среднем по Латвийской ССР на 1974 и 1975 годы было составлено уравнение множественной регрессии вида

$$y = a + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_4 + b_5 x_5 + b_6 x_6 \quad (I)$$

- где  $a$  — свободный член уравнения регрессии;  
 $b_j$  — коэффициент регрессии  $j$ -го фактора уравнения множественной регрессии,  $j = 1, 2, \dots, 6$ ;  
 $x_1$  — среднесуточная температура воздуха;  
 $x_2$  — среднесуточная относительная влажность воздуха;  
 $x_3$  — дефицит влажности воздуха, минимальный за сутки;  
 $x_4$  — температура почвы на глубине 20 см;  
 $x_5$  — продолжительность солнечного сияния в часах;  
 $x_6$  — нагрузка маточника урожаем.

Все экологические факторы ( $x_1 - x_5$ ) входят в состав уравнения как средние арифметические значения за третью декаду июля года, предшествующего плодоношению. Дополнительные исследования показали, что за нагрузку маточника урожаем, влияющую на плодоношение, следует брать степень обилия плодоношения не в год, предшествующий плодоношению, а за два года до плодоношения. В первом случае суммарное влияние всех учтенных факторов ( $x_1 - x_6$ )  $R^2 = 0,60$ , а удельный вес влияния нагрузки маточника урожаем  $\beta_6^2 = 0,01$ . В случае, когда за нагрузку маточника принимается степень

обилия и плодоношения за два года до плодоношения, суммарное влияние всех учтенных факторов ( $X_1 - X_6$ ) возрастает до  $R^2 = 0,73$ , а удельный вес влияния нагрузки маточника урожаем увеличивается  $\gamma_6^2 = 0,17$ . При составлении прогноза урожая на 1974 и 1975 годы за нагрузку маточника мы брали степень обилия плодоношения соответственно за 1972 и 1973 годы. Коэффициенты уравнения были определены методом множественной регрессии.

Подставляя конкретные значения регрессентов в уравнение (I), получаем прогнозируемую степень обилия плодоношения на 1974 и 1975 годы.

$$y_{1974} = 6,523 + 16,3 \cdot (-0,047) + 81,45(-0,050) + 4,01(-0,088) + 8,89(-0,069) + 18,03(0,26) + 3(-0,513) = 4,47$$

$$y_{1975} = 6,523 + 15,1(-0,047) + 83,00(-0,050) + 3,201(-0,088) + 8,16(-0,069) + 16,35(0,26) + 5(-0,513) = 2,51$$

При достоверности 0,68  $y_{1974} = 4,47 \pm 0,52$  балла,  $y_{1975} = 2,51 \pm 0,52$  балла. Фактическая степень обилия плодоношения в 1974 году равнялась 4 баллам, очевидно, "коррекция" была внесена затяжкой холодной весной 1974 года в другой критический период - период микроспорогенеза.

#### Литература

1. Мауринь А.М. Опыт интродукции древесных растений в Латвийской ССР. Рига, 1970, с.185.
2. Мауринь А.М., Лица И.Я., Дрике А.Я. Математическая модель для прогнозирования семеношения тсуги канадской и ели сербской. - "Учен. зап. ДУ", т.122, с.21-36.
3. Лица И.Я., Мауринь А.М., Дрике А.Я. Применение математических методов для составления прогноза семеношения хвойных экзотов. - В кн.: Количественные методы анализа растительности. Тарту, 1969, с.132-135.



4. Мауринь А.М. Семеношение древесных экзотов в Латвийской ССР. Рига, 1967, с. 23.
5. Лица И.Я. Показатель удельного веса влияния факторов воздействия. - "Учен. зап. ЛГУ им. П. Стучки", 1971, т. 153, Рига, с. 36-40.
6. Лица И.Я. К оценке математической модели. - "Учен. зап. ЛГУ им. П. Стучки", 1973, т. 181, Рига, с. 70-76.
7. Mauriņš A., Kņare Dz. *Introdukcio kokaugu generatīvo purpuru organogēzes rādītājs. Daļdarzniecība, V, Rīgā, 1964.*

*Лн*

И. Я. Лица

## ОПЫТ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ФИТОМАССЫ ЛЕСНЫХ БИОЦЕНОЗОВ

Методике определения фитомассы различных фракций и компонентов лесного биоценоза и исследований зависимости фитомассы от разных факторов посвящена обширная литература [6]. Однако этого нельзя сказать в отношении проблемы прогнозирования динамики фитомассы. Работы в этом направлении сводятся лишь к изучению хода роста основного и хозяйственно наиболее ценного компонента лесного биоценоза - древостоя, в частности, к изучению динамики запаса стволов древостоя. Это объясняется, очевидно, тем, что большинство остальных компонентов лесного биоценоза имеет относительно небольшое значение для хозяйственного использования, и предвидение увеличения запаса фитомассы этих компонентов пока представляет еще сравнительно малый практический интерес. Кроме того, подавляющее большинство остальных компонентов фитомассы лесного биоценоза трудно поддается непосредственному измерению и количественному определению, являющегося основой научного прогнозирования.

Многочисленными авторами доказана тесная взаимосвязь между фитомассой различных компонентов и фракций лесного биоценоза и разными таксационными показателями древостоя - запасом, средним диаметром, средней высотой и т.п. На основе этих взаимосвязей разработаны ранообразные методики косвенного определения фитомассы, определяющими параметрами которых являются упомянутые показатели древостоя. Следовательно, прогнозирование фитомассы данной фракции или компонента сводится к параметрическому прогнозированию. Это означает, что сначала прогнозируются значения упомянутых характеристик древостоя, а по этим данным, используя выявленные закономерности, определяется прогнозируемая величина фитомассы. Из сказанного становится очевидной как теоретическая, так и практическая важность прогнозирования запаса



са древостоя, среднего диаметра, средней высоты и других таксационных показателей, а также их текущего прироста, так как это имеет решающее значение не только для непосредственного предвидения динамики древесных ресурсов, но и для прогнозирования динамики фитомассы остальных фракций и компонентов лесного биоценоза. На сегодняшнем этапе развития прогнозомии наиболее соответствующим математическим аппаратом, обеспечивающим достаточно адекватное отражение количественных взаимосвязей между фитомассой и разными параметрами как древостоя, так и экологических и фитоценологических условий исследуемого биоценоза, является математическая статистика, в частности, теория множественной регрессии. Она позволяет оценить влияние совместного воздействия многих факторов, влияние воздействия отдельных факторов и их групп; учитывать нелинейность прогнозируемой системы; получать прогностические уравнения; вычислить доверительные зоны прогноза с учетом особенностей ретроспективной информации и величины периода прогноза; подвергать прогнозируемую систему комплексному анализу. Эти положительные стороны множественной регрессии играют существенную роль на настоящем этапе исследования лесных биоценозов, характеризующемся недостаточной изученностью различных процессов регуляции, которые проявляются на биоценотическом уровне [4]. Поэтому множественная регрессия все шире используется в практике биологического прогнозирования. Как показывает наш опыт [5], и опыт других авторов [1], такой подход оказывается весьма плодотворным при составлении прогностических моделей даже таких комплексных процессов лесного биоценоза, каким является семеношение.

Эффективность прогностических моделей типа множественной регрессии существенно зависит от удачности подбора формы связи и регрессоров. Предлагаемые нами прогностические модели семеношения хвойных эзотов тсуги канадской (*Tsuga canadensis* Carr.) и ели сербской (*Picea omorika* Park.) характеризуются высокой адекватностью. Однако степень сбываемости прогнозов несомненно повысится при

включены в число параметров модели, наряду с метеорологическими факторами, также таксационных характеристик деревьев, в частности, их средних численных значений и текущего прироста по запасу. Помимо народнохозяйственной значимости прогнозов древесных ресурсов, запас древостоя является исключительно удобным модельным объектом для решения теоретико-методических вопросов изучения и прогнозирования различных явлений, протекающих в лесном биоценозе. Поэтому очевидно, и в дальнейшем основное внимание прогнозистов-лесоводов будет сосредотачиваться на решении насущных проблем предвидения древесных запасов. Об этом свидетельствует уже накопленный опыт и современные тенденции развития лесной прогностики.

Первые попытки прогнозирования в лесном хозяйстве, связанные с предвидением накопления запаса совокупностей древостоев, были вызваны необходимостью изучения процесса роста насаждений и составления таблиц хода роста. Были предложены разные функции роста, более или менее адекватно отражающие процесс накопления запаса в течение всего онтогенеза древостоя. В. Пешел [10] приводит анализ 116 функций роста. Он подразделяет существующие до 1938 г. функции роста на две группы: 1) функции роста формально-математической конструкции и 2) функции роста, разработанные с учетом некоторых физико-биологических предположений. К первой группе относятся разные рациональные функции вида (1) (функции роста Вименауэра, Глазера, Ринекера, Сейдла, Типендорфа, Эндреса), (2) или (3) (функции роста Госсфельда, Смалиана), разные экспоненциальные и другие функции (функции роста Ван дер Влиета, Корсуня, Леваковича, Сильвана).

$$y = ax^3 + bx^4 + \dots + bx^n \quad (1)$$

$$y = \frac{ax^2}{b + cx + dx^2} \quad (2)$$

$$y = \frac{ax^n}{b + cx^2} \quad (3)$$



где  $y$  - таксационный показатель древостоя;

$x$  - возраст древостоя;

$a, b, c, d, k, n$  - эмпирические коэффициенты.

Характерной чертой рациональных функций является большое число точек перегиба, не поддающиеся биологической интерпретации. Следовательно, они мало приспособлены для описания процесса роста древесины.

Наиболее известными и изученными функциями роста первой группы являются первая (4) и вторая (5) функции роста А. Ван дер Влиета и Ф. Корсуна (6)

$$y = A[1 - (1 + mx)e^{-mx}] \quad (4)$$

$$y = A[1 - (1 + 2mx + 2m^2x^2)e^{-2mx}] \quad (5)$$

Параметр  $m$  представляет собой "относительный возраст" - отношение действительного возраста к возрасту кульминации текущего прироста, а параметр  $A$  - асимптотическую величину. Детальный анализ функций роста А. Ван дер Влиета показывает, что основным недостатком, ограничивающим их применение, является требование, что отношение между возрастaми кульминации среднего прироста и текущего прироста должно быть постоянной величиной, равной 1. В природе это встречается редко.

Функция роста Корсуна

$$y = \alpha e^{b \lg x + c (\lg x)^2} \quad (6)$$

характеризуется несколькими недостатками: она не имеет асимптоту и, начиная с определенного возраста, убывает, следовательно, текущий прирост с этого возраста является отрицательным.

Наиболее известными функциями роста второй группы являются функции роста Митчерлиха (7) и Тшендорфа (8)

$$y = y_{\max} (1 - e^{-cx^n}) \quad (7)$$

$$y = y_{\max} - \frac{y_{\max} - y_0}{e^{kx}} \quad (8)$$

$y_0$  - начальное значение функции;  
 $c, k, n$  - эмпирические коэффициенты.

В лесной таксации эти функции применялись для описания хода роста древостоев по высоте. Я. Ржегак [II] отмечает, что эти функции не отражают общие закономерности и не могут использоваться для описания хода роста всех таксационных показателей.

В результате анализа многочисленной совокупности функций роста В. Пешел [IO] сформулировал основные требования, которым должна отвечать кривая, представляющая общий закон роста. Она должна: 1) проходить через начало координат, т.е. при  $x=0, f(0)=0$ ;

2) в определенном возрасте  $x_1$  иметь точку перегиба, которому соответствует максимум первой производной функции (текущего прироста), т.е.  $f'(x_1) = \max$ ;

3) в бесконечности должна иметь асимптоту, параллельную оси возраста, т.е.  $\lim_{x \rightarrow \infty} f(x) = A$ .

В 1939 году В. Корф [9] сформулировал четвертое условие, согласно которому кривая должна иметь такой вид, чтобы критерий  $\tilde{v} = x_2 / x_1$  удовлетворял бы ограничению  $1,7 \leq \tilde{v} \leq 2,0$ . Критерий  $\tilde{v}$  представляет собой отношение двух характерных возрастов древостоя:  $x_1$  - возраст кульминации текущего прироста ( $f'(x_1) = \max$ ),  $x_2$  - возраст кульминации среднего прироста ( $f(x_2) / x_2$ ).

После 1936 года был предложен ряд ростовых функций, в определенной степени учитывающие упомянутые требования. Хорошей адекватностью аппроксимации хода роста древостоев отличаются функции роста В. Корфа (9) [9], Г. Бахмана (10) [6] и Хильми (II).

$$y = A e^{\frac{\kappa}{(1-n)x^{n-1}}} \quad (9)$$

$$\log y' = \kappa_0 + \kappa_1 \log x + \kappa_2 \log^2 x \quad (10)$$

$$y = A - (A - y_0) e^{-B(x - x_0)} \quad (II)$$



- $y$  - таксационный показатель древостоев;  
 $y'$  - текущий прирост этого показателя (первая производная функции роста);  
 $y_0$  - величина показателя  $y$  в возрасте  $X_0$ ;  
 $A$  - асимптотическая величина;  
 $K, K_0, K_1, K_2, B$  - эмпирические коэффициенты.

Андерсон приспособил функцию (10) для выражения запаса древостоя

$$y = c_0 \int_{-\infty}^t e^{-t^2} dt \quad (12)$$

где

$$c_0 = \frac{e \frac{4K_0K_2 - (1+K_1)^2}{4K_2 \log e}}{\sqrt{1 - K_2 \log e}} \quad (13)$$

$$t = - \frac{2K_2 \log x + (1+K_1)}{2\sqrt{-K_2 \log e}} = c_1 \log x + c_2 \quad (14)$$

$$c_1 = - \frac{2K_2}{2\sqrt{-K_2 \log e}} \quad (15)$$

$$c_2 = - \frac{1+K_1}{2\sqrt{-K_2 \log e}} \quad (16)$$

Параметр  $t$  Г. Бакман называет органическим временем и интерпретирует его таким образом, что в разном возрасте организма определенный интервал времени имеет разную биологическую значимость. Г. Томасиус [12] подробно анализировал применимость функции Г. Бакмана. Г. Томасиус пришел к выводу, что коэффициенты  $K_0$ ,  $K_1$  и  $K_2$  биологически не обоснованы. Г. Ф. Хильмиа параметры  $A$  и  $B$  представляет в следующем виде  $A = \lambda/\beta$  и  $B = c\beta/\gamma$ , при этом величины  $\beta$  и  $\gamma$  он интерпретирует как показатели, характеризующие расход энергии в насаждении, а  $\lambda$  - как показатель, отра-

жающий полный поток физиологической радиации солнца. Параметр  $X_0$  представляет собой возраст биоценоза в начале периода полного поглощения физиологической радиации (возраст достижения максимального текущего прироста по запасу). Применение функции роста Г.Ф.Хилими для прогнозирования запаса конкретного лесного биоценоза осложняется трудностями определения показателей  $\lambda$ ,  $\beta$  и  $\gamma$ . Следует признать, что этот недостаток, а также биологическая необоснованность коэффициентов характеризует и другие функции роста. Более того, значения коэффициентов определяются эмпирическим путем, следовательно, применение этих функций ограничивается условиями произрастания насаждений, подобранных для вычисления этих значений. Это означает, что любая функция роста отражает наиболее вероятный ход роста совокупности качественно однородных биоценозов. Для вычисления числовых значений коэффициентов эмпирический материал должен представляться в виде динамического ряда запаса, охватывающего многолетний период (несколько десятилетий) онтогенеза древостоя. Составление такого ряда является чрезвычайно трудоемкой и длительной работой, лишаящей практического значения функций роста как аппарата прогнозирования запаса конкретных древостоев для нужд лесохозяйственного планирования рационального использования древесных ресурсов. Функции роста и практическая реализация их в виде таблиц хода роста разработаны по классам бонитета в основном для чистых и одновозрастных насаждений при максимальной или оптимальной абсолютной полноте. Практически же каждый биоценоз имеет конкретные экологические условия, таксационную характеристику и хозяйственный режим. Учитывать эти особенности в условиях интенсивного лесного хозяйства необходимо, так как такие часто проводимые мероприятия, как мелиорация, рубки ухода, удобрение и интенсивность их проведения оказывают существенное влияние на дальнейший ход роста биоценоза, в частности, древостоя. Как справедливо отмечают Е.М.Фильрозе и Т.М.Шмелькова [7], функции роста представляют лишь общую картину динамики прироста, нивелируя при



этом существенные переломы в темпах роста, вызванные как биологическими особенностями древесных пород, так и изменением режима воздействия среды. В результате этого разница между конкретными насаждениями и модельными делает невозможным применение функций роста и таблиц хода роста при прогнозировании запаса как конкретных древостоев, так и их частей и природных и хозяйственных совокупностей древостоев.

Разработка научно обоснованных планов рационального пользования древесными ресурсами немислима без четкого представления динамики запасов. Размер рубки леса, назначенный на каждый очередной ревизионный период, должен вытекать из прогноза потока спелой древесины отдельных хозяйственных секций. Такой прогноз, учитывающий эффект влияния разных лесохозяйственных мероприятий, должен основываться на данных о текущем приросте древесины. Методика производства такого прогноза должна: обеспечить точность результата, которая в рассматриваемом случае может колебаться в пределах  $\pm 10\%$ ; удовлетворять требованию, по которому входящие в расчеты величины удобно измерялись бы в лесном биоценозе и, следовательно, были бы свободны от субъективных желаний исследователей; учитывать биологические особенности древесных пород и конкретные условия отдельных биоценозов; обеспечить адекватность математических моделей прогнозирования запаса отдельных древостоев, их частей и природных и хозяйственных совокупностей вне зависимости от таксационной характеристики, почвенно-типологических условий, воздействия климатических факторов, циклического характера прирастания древесины, санитарного состояния биоценоза и лесохозяйственного режима; определить доверительные зоны прогноза запаса; обеспечить период прогноза 10-15 лет при длине периода ретроспекции не более 10 лет и гарантировать однократность сбора эмпирических данных непосредственно перед производством прогноза.

Из-за недостаточной разработанности как общей теории прогнозонсмии, так и биопрогностики, разработка такой

методики прогнозирования запаса древостоев, учитывающей вышеуказанный комплекс всесторонних требований, является весьма сложной задачей.

Учитывая вышесказанное, нами разработана следующая модель прогнозирования запаса древостоев.

$$M_t = \alpha M \quad (17)$$

$$\alpha = e^{kt}, \quad t \leq 10 \quad (18)$$

$$k = \ln \left[ 1 + \frac{Z_M}{M} (1 - 0.9 \cdot 10^{-3} t) \right] \quad (19)$$

$M_t$  - запас древостоя через  $t$  лет вперед,  $m^3/га$ ;  
 $M$  - запас древостоя в момент прогнозирования,  $m^3/га$ ;  
 $Z_M$  - текущий прирост наличного древостоя в момент прогнозирования,  $m^3/га$ .

Если вместо текущего прироста используется его процент  $P_M$ , коэффициент  $k$  определяется по формуле

$$k = \ln \left[ 1 + 10^{-4} (100 - 0.9t) P_M \right] \quad (20)$$

Коэффициент  $\alpha$  зависит лишь от величины периода прогноза и отношения  $Z_M/M$  или от  $t$  и  $P_M$ . Это позволяет составить таблицу коэффициента  $\alpha$  [3], существенно упрощающую применение формулы (17).

Точность прогноза запаса зависит от точности определения  $Z_M$  и  $M$ . Данной методикой прогнозирования запаса не учитывается прирост отпада. Однако это не является значимым недостатком, так как прирост отпада составляет всего 2-3 процента прироста [2]. В случае наличия соответствующих данных о текущем приросте предлагаемая модель применима и для прогнозирования запаса совокупностей древостоев, имеющее место при актуализации результатов инвентаризации леса.

#### Литература

1. Гиргидов Д.Я. Метеорологический метод прогноза урожая семян сосны. - "Труды ин-та лесохоз. проблем и химии



древесины АН ЛатвССР, 1961, 22, Рига.

2. Джурджу В. Об определении текущего прироста насаждений. "Лесное хозяйство", 1957, 9.
3. Лиепа И.Я. Прогнозирование запасов древостоев.- В кн.: Унификация лесоустроительных материалов, Каунас, 1974.
4. Мазинг В.В. К вопросу эволюции биоценологических систем. - "Труды Московского общества испытателей природы", 1970, т. XXXIII.
5. Мауринь А.М., Лиепа И.Я., Дрике А.Я. Математическое моделирование семенной продуктивности хвойных растений. - В кн.: Постовая репродукция хвойных, 1973, 2, Новосибирск.
6. Родин Л.Е., Ремезов Н.П., Василевич Н.И. Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах. Л., 1968.
7. Фельдман Е.М., Шмелькова Т.М. Динамика роста деревьев и некоторые приемы ее математического описания. "Экология", 1971, 2.
8. Backman G. Wachstum und organische Zeit. Leipzig, Am. Barth, 1973.
9. Korf V. Příspěvek k matematické definici věrnostového zákona hmot lesních porostů. Lesnická práce. Roč. XVIII, 1939.
10. Peschel W. Die mathematischen Methoden zur Herleitung der Wachstumsgesetze von Wald und Bestand und die Ergebnisse ihrer Anwendung. Tharandter forstliches Jahrbuch, 1938.
11. Rehak J. Věrostopové tabulky a metody jejich konstrukce. Závěrečné správy VULH Zbraslav-Strnady, 1956.
12. Thomasius H. Kritik der Wachstumfunktion von G. Backman. Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Universität Dresden, 14, 4, 1965.

Б. Н. Тардов

РАНЖИРЫ РАНГОВ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ  
ОБЪЕКТА ПРОГНОЗА

В прогнозировании очень важно правильное определение ранжиров рангов тех прогнозирующих факторов, динамика которых в ретроспекции определяет динамику прогнозируемых объектов. Ранжир рангов информационных факторов может быть определен по таблице I, принятой некоторыми прогнозистами как экспертная оценка ранга [1].

Таблица I

Ранжиры рангов (по формуле (I)).

Ранг	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ранжир	1,0	1,0	0,75	0,50	0,31	0,19	0,11	0,06	0,04	0,02

В таблице I дана ранжировка рангов, то есть тому или иному фактору присвоена величина его численной значимости (важности) в строгой функции от номера ранга. Однако говорить о наличии в таблице I этой строгости нужно очень осторожно.

Уолфорд и Аллен [2] провели эксперимент, в котором 85 экспертов ранжировали 14 факторов (из 28 предложенных), определяющих понятие "творческие способности". Оказалось, что если ранжир первого номера (ранга) был определен в 4,6 балла (а не пять баллов, которые следовало бы принимать за 100%), то ранжир 14-го номера равен 2,6 балла, то есть 52% от теоретически высшего или 57% от фактически высшего, в то время как по формуле (I), согласно которой составлена таблица I, этот последний случай дает оценку ранжира равной нулю. В другом случае (у В.А. Крутецкого)

[2] 118 экспертов ранжировали 12 элементов, определяющих понятие "математические способности". Элемент, имев-



ский ранг № I получил ранжир, равный 4,9 балла, а элемент, имеющий ранг № 13, получил 1,5 балла, т.е. 30-31 % (в зависимости от указанного выше методического подхода) вместо величины ранжира, равной 6 % по формуле, легкой в основу таблицы I. В рассмотренных двух примерах для элементов с рангом 7 ранжиры имели значения 62-74 % и 62-63 % (соответственно примерам) вместо 11 %, предусмотренных той же формулой.

Ранжировать ранги (давать им ранжиры) безусловно следует и нужно, но использование для этого таблицы I дает очень пессимистичные и уж конечно сильно перекошенные результаты. Если, например, в оценке патентов понятиям "новой технологии" и "качеству" присвоить ранги I и 2 и определить их ранжиры в 100 % и 100 %, то весьма сомнительно, присвоив "конкурентоспособности продукции на мировых рынках", ранг 9 определять его ранжир в 4 % (в 25 раз менее важно, чем "качество"!).

Нужно для всех случаев определять ранжиры  $\zeta(i)$  не по данным удобной формулы (I)

$$\zeta(i) = \frac{i}{2^{i-1}} \quad (I)$$

где  $i$  - номер ранга, а согласно суждений экспертов в каждом отдельном случае по пятибалльной системе оценки (при необходимости перевода ее в процентную систему).

Приведенная выше формула имеет несколько более строгое значение не для подсчетов ранжиров по рангам, а при определении влияния порядкового номера (ранга) измерения на величину средней арифметической из всех их предшествующих (включая данное измерение).  $\zeta(i)$  в этом случае показывает, на сколько процентов эта средняя отличается от математического ожидания, полученного по 20-40 измерениям; за 100 % в этом случае принимается величина отклонения первого и второго измерений. Однако и в этом случае ранжиры по формуле заметно отличаются от экспериментально получаемых, как это видно по данным таблицы 2.

Таблица 2

Сопоставление ранжиров, вычисленных по формуле (I) и определенных экспериментально

	$i$	I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\gamma(i)$	по формуле	100	100	75	50	31	19	11	6	4	2	1,1	0,6
	экспериментально	100	100	75	52	45	43	40	38	33	30	28	25

Последняя строчка этой таблицы дает возможность оценивать достаточность (или избыточность) числа факторов, выбранных для оценки рассматриваемого явления. Эта оценка производится исходя из величины ошибки (см. строчку 3), принятой как допустимая.

Для установления уместности приведенной выше формулы для вычисления  $\gamma(i)$  - ранжира ранга нами был выполнен особый эксперимент. Двум группам экспертов (кандидаты и доктора наук, а также высококвалифицированные специалисты с большим производственным стажем) по 50-60 человек в группе было предложено для каждого из девяти понятий, раскрывающих определение их отрасли, назвать по девять подчиненных понятий, раскрывающих в свою очередь содержание первых девяти понятий. Можно было в лучшем пределе ожидать, что для каждого из подчиненных девяти понятий будет названо девять одинаковых дескрипторов, предложенных столько раз, сколько экспертов в той или другой группе.

По каждому из понятий было дано примерно 450-500 предложений, но число дескрипторов при этом было не девять, а примерно 100-200. Все эти дескрипторы семантически были различные. Все они относились к раскрываемому понятию, но были в разных рангах иерархии (вплоть до третьего и четвертого уровня, вместо только первого). Некоторые (наиболее важные) из дескрипторов повторялись до 30-60 раз, другие меньше, а до 40-60 дескрипторов повторялись только по одному разу.

Этот эксперимент (вернее, 18 экспериментов), проведенный с другой целью, был использован для решения постав-



ленной выше задачи, причем экспертам об этом известно не было.

Дескрипторам (в каждом из 18 экспериментов), получившим наибольшее число встречаемости был присвоен первый ранг. Тем дескрипторам, встречаемость которых была ниже и которые следовали непосредственно за первым дескриптором, был присвоен второй ранг и т.д. столько возрастающих (по номеру) рангов, сколько было названо дескрипторов (100 - 200).

Так производилась ранжировка. Ранжировка дескрипторов (ранжиры рангов!) выполнялась следующим образом. Высший ранжир (равный числу высшей встречаемости) принимался за 100 % и присваивался тому дескриптору, который имел ранг № 1 (высшая встречаемость). Следующий дескриптор (с рангом № 2) получал ранжир меньший (в %), а именно ту часть от 100 %, которая равна частному от деления величин этих двух соседних встречаемостей и т.п. Если два соседних дескриптора имели одинаковую встречаемость, то ранги им присваивались разные (но соседние), а ранжиры этих рангов были одинаковые.

Полученные 18 связей ранжиров с рангами, нанесенные на один чертеж, дали кривые, плохо совпадающие друг с другом; несовпадемость была тем больше, чем больше было число дескрипторов (рангов) в отличающейся кривой. После этого было принято решение выразить и ранги (не только ранжиры) в процентах. За 100 % ранга было принято общее число дескрипторов в каждом из 18-ти экспериментов. В этом случае бывшему рангу № 1 присваивался процентный номер, определяемый как частное от деления 100 % на общее число дескрипторов, умноженное на число дескрипторов в ранге № 1.

Таким образом, ранг  $R$  в эксперименте определялся по формуле (2)

$$R = \frac{R_i}{R_{\max}} \cdot 100\% \quad (2)$$

где  $R_i$  - число дескрипторов до данного ранга (включитель-

но;

$R_{max}$  - общее число дескрипторов в эксперименте;  
 Ранжир же  $\tau$  в эксперименте определялся по формуле (3)

$$\tau = \frac{\tau_j}{\tau_{max}} \cdot 100\% \quad (3)$$

где  $\tau_j$  - встречаемость дескрипторов у рассматриваемого ранга;

$\tau_{max}$  - максимальная встречаемость.

Перенесение указанных выше кривых в координатах  $\tau$  (%) -  $R$  (%) дало хорошую совпадаемость (накладываемость) этих кривых.

Нанесение осредняющей кривой на бумагу с логарифмическим масштабом дало линию, достаточно близкую к прямой. Эта прямая описывалась формулой

$$\lg \tau = 2,25 - 0,833 \lg R \quad (4)$$

откуда

$$\tau = 178 \cdot R^{-5/6} \quad [\%] \quad (5)$$

где  $\tau$  и  $R$  в %.

Формула верна, начиная с  $R = 2\%$ . Минимальный ранжир всегда 3,6% (в принципе не ноль!).

Табличное выражение формулы (5). Таблица 3

%	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	20	30	40	50
%	100	100	72	56	46	39	35	32	29	25	15	10	8	6,6

%	60	70	80	90	100
%	5,6	4,94	4,4	4,0	3,6

Другой, еще более объективный способ определения ранжир (численной оценки значимости) ранга того или иного фактора (или величин относительно негэнтропии таксона соответствующей иерархии) заключается в том, что за ранжир ранга фактора принимается отношение среднего уровня ряда динамики фактора (объекта) после 50%-ой величины агрумен-



та ряда (сам ряд считается функцией) к средней величине уровня ряда, но уже до 50%-ой величины аргумента (так называемая авторанжировка).

### Литература

1. Бакиров У.Х., Заверткин В.С. Прогнозирование научно-технического прогресса в области охраны труда. Свердловск, 1970.
2. Платонов К.К. Проблемы способностей. М., 1972.

СОДЕРЖАНИЕ

И. Я. Лица. Моделирование - основной инструмент научного прогнозирования .....	3
И. Я. Лица. Особенности прогнозирования биологических объектов .....	22
А. М. Мауринь, В. И. Михайлова, Л. З. Ратсепа. Тест гетеро- генности популяции для прогноза ее динамики .....	31
О. Н. Шалак. Оценка индексных методов дендрохроно- логических и дендроэкологических исследований .....	40
Г. Е. Пospelова. Выявление критических периодов воздействия экологических факторов на детерминацию генеративных почек у <i>Acer tataricum</i> L. ....	53
И. Я. Лица. Опыт прогнозирования фитомассы лесных биоценозов .....	61
Б. Н. Тардов. Ранжиры рангов диагностических признаков объекта прогноза .....	71

---



Ученые записки, том 239

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ В БОТАНИКЕ

Выпуск III

Редактор В. Балодис  
Технический редактор Ж. Трифонова  
Корректор Ж. Трифонова

Латвийский государственный университет  
Рига 1975

---

Подписано к печати 29.09.1975. ЯТ 12336. Зак. № 1213.  
Ф/б 60x84/16. Бумага №1. Физ. п. л. 5,3. Уч.-и. л. 3,6  
Тираж 450 экз. Цена 36 к.

---

Отпечатано на ротационной машине, Рига-50, ул. Вейденбаума, 5  
Латвийский государственный университет им. П. Стучки