

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ИССЛЕДОВАНИЯХ, ПРОВОДИМЫХ В БИОСФЕРНЫХ ЗАПОВЕДНИКАХ

А.М.Молчанов

Пушино. Научно-исследовательский вычислительный центр АН СССР

Применение математических методов при планировании исследований в биосферных заповедниках необходимо прежде всего для классификации задач по степени сложности. Целью доклада является демонстрация того, что главные направления исследований можно наметить на основании фундаментальных понятий биологии и математики, упорядочив при этом саму структуру исследований. Идейной основой исследований должно быть, повидимому, понятие биогеоценоза.

Два слова об этом. В биологии все системы, все объекты куда более иерархичны, чем в других областях науки. Для каждой системы имеются свои, очень четко выраженные, характерные размеры в пространстве и соответствующие им времена существования. Эта (по выражению Н.В.Тимофеева-Рессовского) "некисельность форм жизни" приводит к резко дискретной структуре, что и является объективной основой сначала для логического (качественного), а затем и количественного математического анализа. Наиболее правильной основой системного анализа является именно биогеоценоз, как высшая структурная единица. В биосферном заповеднике (в зависимости от его размеров и от того, где он расположен) может существовать несколько биогеоценозов. Поскольку выделение территорий под биосферные заповедники вынужденно административное, то может оказаться, что граница заповедника пройдет по живому телу одного из биогеоценозов. Может случиться, что заповедник будет состоять из одного единственного биогеоценоза, и даже, что биогеоценоз не поместится в пределах заповедника. Это противоречие между естественной единицей и административной организационной единицей в биосферном заповеднике - оно с самого начала и ставит задачу.

Я буду исходить из предположения, что биосферный заповедник - это некоторая территория, которую можно разделить на нес-

колько зон, на несколько биогеоценозов. Биогеоценозы не являются замкнутыми, они являются структурными единицами, но потоки друг в друга и потоки наружу, особенно абиогенные, определяются, в основном, его свойствами. Сам биогеоценоз - аналог особи, аналог организма, некоторая индивидуальность, особенность, цельность - использует эти потоки по "собственному усмотрению". Например, чем отвечает биогеоценоз на очень дождливый год? Развитием соответствующей влаголюбивой растительности, благодаря которой часть воды сбрасывается. Приходит нормальный год. Избытки воды сброшены. Вырастает нормальная растительность и восстанавливается естественная для этого биогеоценоза структура. Сухой год. Обратная реакция. Возникает больше засухоустойчивых форм, опять происходит какая-то адаптация и всё возвращается к прежнему уровню.

Задача в том и состоит, чтобы понимать структуру биогеоценозов в данном месте, типичные формы взаимодействия между ними, типичные формы ответов на слабые изменения внешних условий (обычно погодных) и третье, - адаптационные и эволюционные изменения. Например, возрастающая нагрузка (эволюционная) не в смысле Дарвина, а в смысле медленных изменений. Скажем, растет внешняя нагрузка на биогеоценозы, они как-то медленно эволюционируют, причем, на фоне этой медленной эволюции могут быть быстрые, например, сезонные колебания, которые, не задевая самую структуру этих отдельных образований, структурных единиц, тем не менее внешне выглядят очень резкими и значительными.

Итак, в чем должна быть задача такой системы. Первое, изучение и выяснение структуры основных единиц, составляющих схему биосферного заповедника. Второе, изучение слабых взаимодействий или сильных, это уж как выйдет. Это зависит от реальной действительности. В небесной механике есть очень удачный термин: вековые изменения, т.е. изменения не обязательно эволюционные, но они могут быть, в свою очередь долгопериодическими, и они приводят к изменению поведения в целом изучаемой системы. Эта общая задача.

Не нужно забывать, что вокруг заповедника имеется буфер-

ная зона. Это очень интересная вещь. В самом деле, по приближению к границам, двигаясь от биосферного заповедника к границам буферной зоны мы будем видеть возрастающее влияние какого-то фактора. Допустим, по направлению к какому-нибудь городу, где возрастает нагрузка — засорение окружающей среды, например, воды или воздуха. Как будет подсистема (уже вряд ли целый биогеоценоз) откликаться на это? По-видимому, тем, что будет возрастать буферность в ответ на воздействие. Если бы мы взяли отдельный биогеоценоз и на всей его площади постепенно увеличили концентрацию углекислого газа или CO_2 , тогда биогеоценоз как целое отвечал бы на это какими-то своими внутренними защитными реакциями. Эти события разворачивались бы во времени. Здесь же, ввиду наличия буферной зоны те же самые события будут разворачиваться в пространстве. Т.е. на границах заповедника какие-то системы почти не развиты, но по мере приближения к буферной зоне всё более и более развиваются типичные ответы, типичные подсистемы, дающие типу биогеоценозов защиту от данного вредного фактора.

В другом случае можно следить за изменениями при приближении, например, засушливой зоны или песков. Здесь необходимо понять что является определяющим фактором, (конечно, их может быть много, не обязательно один), и в пространстве проследить структурированные ответы в подсистемах. Это вынуждает, в свою очередь, с самого начала, в цельных, нетронутых экосистемах, биогеоценозах, находящихся внутри биосферного заповедника, попытаться понять их разбиение на подсистемы. Возможно, это будут ландшафтные характеристики. Допустим в большом биогеоценозе где есть болото, где-то лес, где-то участок дуб, песок или солончи, словом какие-то переходные буферные зоны. Сама структура этого отдельного биогеоценоза опять-таки состоит из маленьких подсистем, которые неспособны к самостоятельному существованию в отличие от биогеоценоза в целом. Если мы возьмем этот кусок и посадим где-то в другом месте, он сам по себе жить не в состоянии. Он есть только часть биогеоценоза, какая-то его структурная единица, неспособная к самостоятельному су-

ществованию, но важная для жизнеспособности биогеоценоза в целом. Ответ на внешнее влияние состоит в том, что или во времени или в пространстве по мере усиления нагрузки происходит гипертрофия одних форм и участков и спад, увядание других. Эти формы предельные, формы типичные. Они позволяют увидеть внутреннюю структуру, внутреннюю жизнь того, что является главным предметом нашего изучения.

Таким образом, при правильной организации и пространственные и временные характеристики должны служить одной цели: мы должны каждое изменение стремиться понимать как ответ, как разрастание некоторой буферной зоны, как защитную реакцию БЦ, стремление сохранить свою индивидуальную внутреннюю структуру и отвечающую на внешнее воздействие гипертрофией защитных компонент и консервацией защищаемых. Любая живая система состоит из двух главных компонент: структурные, скелетные, которые обеспечивают преемственность и буферные зоны, которые могут изменяться в широких пределах, не затрагивая существо самой исходной структуры. Допустим, ведущим является бор. Не в нем есть много полян, болот, песков, насекомых может быть много, а может быть мало, кустов может быть много, а может быть мало. Так вот, бор — это скелетная форма — он сам по себе почти неизменно существует. Остальные компоненты чрезвычайно важны для жизни бора, так как от них зависит будущее бора. Есть ли кусты, нет ли кустов, какие почвенные выбросы, какие потоки воды и воздуха — всё это чрезвычайно важно, но это всё — так второстепенно, это — шуба, которую снимают и одевают. Даже у ядерца хвост может быть отращен, а может быть снова сброшен — это несущественные элементы. Но скелет остается константным, а формы адаптации в широких пределах варьируют. Поэтому воздействия на биогеоценоз интересны и существенны еще и потому, что показывают, что хотя лабильные быстромениющиеся компоненты очень важны, но они всё-таки буферны. Есть какая-то скелетная форма, которую мы, как правило, не знаем. И в этом и состоит одна из важных задач при изучении этих систем, узнать, каковы же скелетные, ведущие формы, разрушение которых приводит к необрати-

мой деградации. Поэтому так важны эти предельные формы в геометрическом смысле при приближении к границам буферной зоны, где вполне может происходить деградация исходных БЦ. И в пространстве мы можем увидеть, как по мере удаления от нормальной живой системы сбрасываются, редуцируются сначала менее существенные, а затем всё более и более существенные компоненты. По мере деградации мы доходим до самой глубокой внутренней сущности биогеоценоза. По-видимому, второй важный пункт, важный аспект этой темы – это индикаторные виды, свойства, факторы и ситуации.

Индикаторные виды. Изменялись внешние условия, БЦ отвечает всплеском какой-то компоненты, например, вспышкой вредителей. Это может означать, что возникла индикаторная ситуация: древостой ослаблен, бороться не может, происходит массовая вспышка определенного вредителя индикаторного вида. При засухах или при переувлажнении наверняка БЦ включает вспышки каких-то соответствующих влаголюбивых форм. Например, при переувлажнении, заболачивании вырастает тростник, который колоссальной транспирацией резко сбрасывает воду в атмосферу. Причём, каждый раз возникают регуляторные приспособления, индикаторные виды, самый факт существования которых ясно показывает (для опытного взгляда) на соответствующее изменение. Вот тут, пожалуй уместно слово "системный анализ". В данном случае это означает, что необходим грамотный эколог, который знает, как данный тип БЦ отвечает на те или иные изменения существования. Здесь пока математика не нужна. Полезен её понятийный аппарат, понимание существенных, ведущих параметров, ведущих переменных. Это первый пункт – индикаторные виды.

Могут быть не только индикаторные виды, но и индикаторные свойства. Один и тот же вид может оказаться настолько лабильным и настолько подвижным, что в зависимости от изменений окружающей среды развивает в себе, уже индивидуально, какие-то адаптационные признаки, которые показывают, что в данном месте, допустим, избыток соли. Такие виды известны. Есть виды, которые

концентрируют определенные виды солей, ионов металлов и т.д. Принцип этот хорошо известен, но всё это должно быть более систематизировано. Необходимо чётко подчеркнуть, что индикаторные свойства должны быть одним из главных предметов изучения в этой системе.

Индикаторные ситуации, когда стройное сочетание двух видов, представителей растительного и животного мира показывает, что в этом месте происходит какой-то существенный процесс, прошёл какой-то, может быть, геохимический или какой-нибудь другой барьер, по которому происходит вытеснение, смена одного типа БЦ другими. Типичный пример - наступление болота на лес, или, наоборот, отступление болота перед лесом. На границе раздела кислых и щелочных вод - граница леса и болота, т.е. геохимический сдвиг имеет своими корнями биологические процессы. Необходимо изучить, как это сказывается на индикаторной структуре, биологических ситуациях и биологических видах. Индикаторным здесь является не отдельный вид, а их сочетание, вот такая пара на границе кислотной и щелочной почвы. По-видимому, систематическое понимание решающей важности таких примеров - важный компонент изучения в биосферных заповедниках.

Индикаторные оценки. Это приводит нас к следующему важному пункту - мониторингу, потому что в принципе можно и нужно снимать огромное число данных, количественных, числовых, показывающих самые разные количественные характеристики: физические, биологические и химические. Но для того, чтобы их правильно организовать, чтобы не потонуть в этом неструктурированном потоке данных, надо иметь чёткие структуры. И здесь индивидуальные ситуации, понимание индикаторных признаков позволяет правильно организовать сбор и понимание этих данных. Они, а их не так много, являются теми опорными точками, к которым привязываются вся остальная бездна информации. Пример: раки есть - вода чистая, раков нет - вода грязная. Канарейки для индикации CO. Но это должно быть не на уровне примеров и хлестких сравнений, а на рабочем уровне. Необходимо указать для каждого конкретного БЦ, типичного для этого заповедника, те индикаторные свойства,

виды, ситуации и признаки, которые характеризуют данные конкретные биологически значимые свойства. Например, граница тако-го-то БПЦ проходит по линии со вполне определенным показателем кислотности или характеризуется определенной величиной крутизны склона или средне-годовой температурой или же каким-либо иным объективным параметром.

Итак, индикаторность. Первое, это понимание структуры биосферного заповедника с точки зрения главной субъединицы — БПЦ, с точки зрения экологической, второе, более мелкое подразделение на основании индикаторных свойств. И вот уже пора сформулировать, какова же роль математики. Мне кажется, решающая. Например, движение этих границ в пространстве и во времени (а это, на мой взгляд, главное, что здесь должно быть сделано), и эволюция всей системы в целом может прослежена только на основе серьезной математической модели. Но здесь предстоит большая подготовительная работа, потому, что заготовить в модель все свойства невозможно. Значит, нужно будет сформулировать свойства математической модели конкретно по каждому интересному детерминированному признаку. Например, этот индикаторный признак: граница двух биогеоценозов, степного и лесного Биологи должны помочь выяснить, какие параметры являются ведущими, а математики тогда в состоянии будут сформулировать, как будет двигаться граница. Она будет не просто прямой линией, а здесь обязательно возникает мозаичная структура. Из лесостепи в лес, например, внедряются поляны, наоборот в степь из леса — колки леса. Определение такой границы — трудная задача, понять её можно только с привлечением серьезной математической модели, которая показала бы, как протекает этот сложный переходный процесс от леса к степи, где эта средняя линия, которую и нужно, видимо, считать границей. Проследить движения в размытой зоне, где начинается превалирование одного признака над другим, динамику этого сложного движения, его очень нетривиальные иногда переходы, в том числе и колебательные, когда переходная зона то сжимается, то расширяется, повинаясь не только внутренним законам, но и чутко реагируя на изменение внешних усло-

ний - вот это уже требует самой серьезной математики, особенно на идейном уровне. Здесь должны быть сформулированы на основании предварительных консультаций с профессиональными требованиями по сбору материалов - что и зачем собирать и с какой точностью.

Такова общая схема, общая структура возможного взаимодействия серьезных математиков с серьезными экологами. И в этом смысле, на мой взгляд, биосферные заповедники - совершенно бесценный плацдарм, бесценный объект, именно потому, что на них можно надеяться проследить эту замечательную пространственно-временную двойственность. То, что во внутренних зонах нетронутых биогеоценозов происходит во времени, в буферной зоне разворачивается в пространстве. И вот тут вся эта схема-структура навеяна, в сущности, замечательной гипотезой - эргодической гипотезой, заключающейся в том, что поведение системы во времени, например, развитие климакса - ассоциации, завершается в дальнейшем пространственной структурой. И те этапы, которые она проходила, достигая своего зрелого климаксового состояния, затем в этом климаксовом состоянии рассыпаются в пространстве островками этих самых компонент. И вот такое понимание двойственности пространственных и временных изменений позволяют четко увязать, причем в идеале и на уровне точного математического исследования, понимание временных изменений, эволюционных и периодических во внутренних биогеоценозах со структурно-пространственными изменениями в буферной зоне.