

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Научный совет по проблемам биосфера и Комитет системного анализа при Президиуме АН СССР подготовили и провели 11-20 марта 1974 г. II Всесоюзную школу по математическому моделированию в биологии.

Вторая школа была закреплением традиции, основанной А.А.Ляпуновым. Объединение усилий математиков и биологов, их взаимопонимание – трудная задача, в решении которой, по мысли А.А.Ляпунова, важное значение имеют ежегодные школы.

Участники школы, приехавшие из разных научных центров Советского Союза, слушали лекции, принимали участие в обсуждениях на рабочих группах.

Но может быть самое большое значение имели незапланированные контакты. Именно они помогают возникновению "незримых" научных коллективов, формулировке новых научных задач.

Были прочитаны лекции А.А.Малиновским, С.Э.Шнолем, Ю.М.Свирижевым, Ю.И.Гильдерманом, С.В.Фоминым, В.Д.Федоровым.

Краткие аннотации этих лекций приведены ниже.

А.А.Малиновский рассказал об истории возникновения системного подхода в биологии. Была подчеркнута роль отечественных исследований, начатых до официального признания системного подхода.

На существенных примерах, взятых из различных областей биологии, была продемонстрирована общность и конструктивность понятий "жесткой" и "дискретной" систем. Намечены общие приемы изучения таких систем независимо от их происхождения.

Информационный бюллетень о работе II Всесоюзной школы по математическому моделированию в биологии.

Пущино: НЦБИ АН СССР, 1975.

С.Э.Шноль сопоставил историю развития эволюционных представлений и проникновения методов точного естествознания в биологию. Было показано, как по мере уточнения физико-химических методов основные понятия эволюционной биологии получали конкретное молекулярное истолкование. Этот замечательный процесс увенчался расшифровкой генетического кода. Дальнейшее развитие молекулярной биологии должно привести к более детальному пониманию функциональных свойств макрокомплексов, что явится надежной основой медицины.

Другое направление молекулярной биологии может дать базу для углубленного изучения эволюционного процесса.

В.Д.Федоров рассказал об устойчивости биологических систем, выделив в качестве основных следующие свойства биологических систем:

- 1) сложность, которая определяется разнообразием элементов и связей между ними;
- 2) автономность, которая определяет особенности положения системы на правах подсистемы в пределах более крупной системы;
- 3) надежность, которая определяет вероятность осуществления процессов в системе и поддержания во времени ее свойств;
- 4) устойчивость, которая определяет способность биосистем противостоять внешним возмущающим воздействиям при сохранении "лица системы".

Лекция Ю.М.Свирижева "Математические модели биологических сообществ" была посвящена обзору существующих моделей, их классификации и анализу перспектив экологического моделирования. Основной класс моделей – модели, использующие законы сохранения. Показано, что многие известные модели относятся именно к этому типу. Целый класс интересных задач оптимизации возникает при изучении динамики эксплуатируемых популяций и сообществ, методов биологической и химической борьбы с "вредителями". Специфические эффекты (пространственная периодичность и своеобразные "пространственные резонансы") возникают в моделях, учитывающих пространственную структуру сообществ. Поскольку трофическая структура естественно может быть описана на языке теории графов, это при-

водит к "топологическим" моделям, в которых пытаются по топологии трофических структур судить о таких свойствах сообществ, как стабильность.

В лекции Ю.И.Гильдермана "Принцип Либиха и Л-системы" рассказано об одном типе описания, который может найти широкое применение в экологическом моделировании. Согласно принципу Либиха, скорость того или иного биологического процесса в каждый момент времени определяет только один фактор (концепция "узкого места"). Математическая формулировка этого принципа приводит к системе дифференциальных уравнений с правыми частями, зависящими от операторов максимума и минимума. Это позволяет естественным образом строить достаточно сложные и интересные модели. Лектор подчеркнул, что богатство фазовых картин систем данного типа велико и ни в чем не уступает богатству классических систем. Это наглядно было проиллюстрировано обобщением классической модели "хищник-жертва".

С.В.Фомин в своей лекции "Математические модели в физиологии" подробно остановился на принципах программного управления в физиологических системах. В отличие от моделей, основной тип описания в которых - дифференциальные уравнения, здесь необходимы другие способы (например, в терминах теории автоматов), непосредственно использующие возможности современных ЭВМ. На примере принципа синергии лектор показал, каким образом можно применить информацию о характере функционирования системы для решения задач с относительно большим числом степеней свободы.

Продолжили свою деятельность возникшие на первой школе рабочие группы по темам: ведущая роль геохимии в некоторых биогеоценозах (А.М.Молчанов); технология моделирования (Ю.М.Свирежев); моделирование процессов самоочищения в водоемах (В.А.Вавилин).

В рабочей группе "Ведущая роль геохимии в некоторых биогеоценозах" записка А.М.Молчанова о возможности построения теории таких экосистем (на основе достижений нелинейной теории колебаний) была размножена и разослана вместе с информацией о подготовке второй школы.

В ответ на записку были получены замечания от Б.Я. Виленкина (Москва), А.Б. Горстко (Ростов-на-Дону), А.А. Дольдина (Киев), В.Е. Заики (Севастополь), И.А. Полетаева (Новосибирск), Ф.Н. Семёновского и Ю.В. Титова, Т.Г. Гильманова (Москва). Эти материалы, содержащие критические замечания, уточнения, обобщающие и ограничивающие соображения, по мере поступления размножались и рассыпались будущим участникам школы.

Метод предварительной заочной дискуссии оказался весьма полезным и может быть с успехом использован в дальнейшем, но требует четкой организационной работы и оперативного использования множительной техники.

На школе участники рабочей группы обсудили свойства некоторых конкретных экосистем. Одним из перспективных объектов для моделирования могут оказаться лесные озера Прибалтики с переменным гидрологическим режимом (сообщение Р.Ю. Пакальниса). Б.Я. Виленкин указал на роль изменения скорости потоков в водохранилищах, существенно меняющих режимы "обрастания" и качество воды. А.А. Титлянова заметила, что в степных биогеоценозах структуру некоторых зон можно понять на основе идеи ведущей роли геохимии. Однако буквально в двух шагах могут существовать участки, где такой подход дезориентирует. В записке И.А. Полетаева, не присутствовавшего, к сожалению, на школе, указана ограниченность предложенного подхода и неестественность движения мысли из математики в биологию, а не наоборот.

Обсуждение помогло более четко сформулировать возможный объект теории - это, по-видимому, экосистемы в экстремальных условиях, экосистемы на границе своего ареала.

Участники дискуссии подчеркивали, что существо дела, вероятно, заключается в иерархической структуре многих важных экосистем. Ведущей может оказаться не геохимическая, а как раз биологическая компонента. Для моделирования важнее, конечно, характер взаимодействия подсистем, а не конкретные значения ведущих факторов.

Б.Я. Виленкин обратил особое внимание на возможную связь иерархического ("треугольного") подхода с временными характеристиками экосистем - соотношения времени релаксации эко-

системы и продолжительности жизненных циклов входящих в нее популяций.

Участники группы сочли целесообразным продолжение работы. Высказана также надежда, что эта удачная форма научной работы не останется эпизодом и мобильный обмен экспресс-информацией станет традиционным рабочим методом.

На заседаниях рабочей группы "Технология моделирования" основное внимание уделялось вопросам конструирования моделей (не особенно связанных с конкретными особенностями моделируемой системы), использования того или иного математического аппарата и т.д.; другими словами - "кухне" моделирования. Первая тема - "Классические модели сообществ и проклятие размерности". Обсуждены подходы, основанные на применении принципов статистической механики. Например, для малотузианских популяций Л.Р.Гинзбургом было показано, что при достаточно большой численности стационарная скорость роста в среднем одинакова для всех популяций и определяется характеристиками, не зависящими от начальной структуры популяций.

Вторая тема - обсуждение методологии системного анализа (в частности, методов имитационного моделирования). Б.Г.Сушкин подробно рассказал о концепциях, заложенных в основу одного из методов - метода системной динамики. Несмотря на их внешнюю очевидность, привлекает упорядоченный и алгоритмизированный подход, что достигается использованием языка моделирования ДИНАМО. В качестве примера В.Н.Соколовым была приведена известная "мировая модель" Дж.Форрестера, вызвавшая оживленную дискуссию. В то же время многие отмечали, что, несмотря на всю спорность и недостаточную обоснованность, эта техника, ориентированная на использование ЭВМ, может найти широкое применение в экологическом моделировании (но нужны специальные языки моделирования).

Третья тема - моделирование популяций и сообществ микроорганизмов (задачи, имеющие большое прикладное значение) и использование самих искусственно культивируемых популяций как некоторых моделей, имитирующих эволюционные и экологические процессы гораздо с большими характерными временами. Н.С.Печуркин в своем сообщении рассказал о некоторых кон-

крайних экспериментах такого типа, проводимых в Институте физики СО АН СССР (Красноярск), и о их возможной эволюционной интерпретации.

Четвертая тема - "Оптимизация в биологических сообществах". Обсуждены задачи, связанные с применением различных методов оптимизации к математическим моделям экосистем и с выбором критериев. Специальное заседание было посвящено вопросу об определении понятия устойчивости сообществ и о связи между сложностью и устойчивостью. По-видимому, "аксиома" об увеличении устойчивости с повышением сложности и увеличением числа трофических связей в экосистеме вызывает все большее сомнение. Приводит к парадоксам и последовательное применение энтропийных мер как показателя стабильности сообщества. Эта проблема по-прежнему остается одной из самых сложных в количественной экологии.

Две темы были посвящены анализу процессов, происходящих в почвах (в основном, проблемы миграции химических элементов), и методам машинного моделирования в популяционной генетике. Заслушано сообщение Л.А.Животовского о возможных способах кодирования генетической информации на собственном машинном языке. Р.Г.Хлебопрос в своем сообщении о моделях динамики популяций лесных вредителей привел пример применения физической методологии к задачам биологического моделирования (максимальное упрощение математической модели на основании "физических" соображений при сохранении качественного поведения системы).

Все участники школы, работавшие в этой секции, отметили необходимость организации такой секции на следующих школах, хотя высказывались различные мнения о форме работы.

На заседаниях рабочей группы "Моделирование процессов самоочищения в водоемах" обсуждались возможности математических моделей качества воды в водоемах, учитывающих совокупность физических, химических и биологических процессов. Известно, что качество воды играет определяющую роль в разработке оптимальных моделей управления водным хозяйством (Л.Р.Линнупылд).

С одной стороны, рассматривались модели самоочищения -

модели "гомогенных" экологических систем, устраивающих несвойственные водоему посторонние органические вещества. С другой – процессы, приводящие к осреднению компонентов экосистемы по пространству и принудительному перемещению их вдоль водотока.

Для процессов распространения загрязнений может быть предложена система гидродинамических уравнений с активной средой (О.Ф.Васильев) как основа для предсказания зон загрязнения вдоль водотока. В настоящее время "активность" среды в большинстве работ учитывается лишь в виде мономолекулярного распада органических загрязнений в водоеме, так называемого уравнения Стритера-Феллса. Логическим продолжением этого направления является дополнение моделью собственно экологической системы гидродинамических уравнений.

Имитационные модели конкретных аквасистем могут дать хорошее количественное соответствие поведению реальной водной экосистемы (А.В.Леонов, Т.А.Айзатуллин). Однако плата за это – большое количество параметров, значение которых нужно подбирать на ЭВМ, поскольку в эксперименте их определить очень трудно.

Биохимическое (микробиальное) окисление посторонних органических веществ, попавших в водоем, часто является "узким местом" процесса самоочищения, идущего в водоеме. Из анализа экспериментальных работ по исследованию процессов утилизации органики микрофлорой (И.А.Швытов и В.С.Блохин) сделан вывод о существовании механизмов последовательного и одновременного потребления органических веществ. При этом важную роль играет изменение состава проточного микроакваценоза (А.Г.Дегерменджи, Н.С.Печуркин).

Исследования по технологии очистки сточных вод в аэротенках позволяют выявить ряд критериальных параметров ("эффективное" время, степень изъятия, степень кислородной обеспеченности) и получить кинетические уравнения изъятия субстрата и потребления кислорода активным илом (М.А.Евилевич, Л.К.Коровин, И.А.Швытов). Как для аэротенков, так и для реальных водоемов существенным результатом исследования является поиск оптимальных режимов процессов самоочищения (Ю.В.Подвинцев, А.В.Цуканов).

На основании анализа простых моделей биохимического окисления органических веществ в водоемах В.А.Вавилиным было обращено внимание на возможность возникновения "рецидивов" загрязнения в водоеме через определенные временные интервалы.

Обсуждались также вопросы, связанные с определением связей, существующих между переменными природной экосистемы и выявлением определяющих параметров (А.И.Ленин).

А.М.Молчанов, Ю.М.Свирежев, В.А.Вавилин