

Одним из основных направлений фундаментальных комплексных исследований, курируемых Научным советом по проблемам биосферы АН СССР, является создание математических моделей для решения задач оптимального управления биосферой, ее компонентами и отдельными экосистемами. Координация работ данного направления входит в задачу математической секции Совета.

Одной из эффективных форм координирующей, стимулирующей и направляющей деятельности секция считает проведение ежегодных школ по отдельным проблемам математического моделирования сложных биологических систем. В 1978 году секция провела свою VI школу. Шесть лет в развитии определенного направления — срок достаточный, чтобы сделать некоторые выводы.

Первая школа была подготовлена и проведена в 1973 г. под руководством чл.-корр. АН СССР А.А.Ляпунова и преследовала своей целью собрать вместе представителей различных исследовательских групп только начинающего развиваться направления, очергить проблематику работ в области математического моделирования биологических систем, ознакомить участников школы с основами системного подхода к изучению биогеоценозов, ознакомить биологов с возможностями вычислительной техники. Ведущую роль на первой школе играли математики. Тогда казалось, что основная проблема — в овладении математикой, казалось, что если обучить биологов математике, развить соответствующие методы (особые надежды возлагались на дискретную математику), то основные проблемы математического моделирования в биологии будут решены. Правда уже тогда единственный биолог-лектор первой школы Н.В.Тимофеев-Ресовский предостерегал: "Самое опасное для математика — проведение якобы "точного" анализа и построение "строгих" математических моделей недостаточно изученных, описанных и понятых математиками природных объектов и явлений" (Сб. "Математическое моделирование в биологии", М., "Наука", 1975 г.).

Анализ отечественного и зарубежного опыта математического моделирования биологических, в первую очередь — природных экологических систем, накопленный в конце 60-х и нач-

ле 70-х годов, показал, что эти опасения имели под собой веские основания. Сейчас уже, по-видимому, можно сказать, что в основном не оправдались большие надежды, возлагавшиеся на успех возможно более подробного балансового "имитационного" описания природных систем с последующим использованием мощной вычислительной техники для прогнозирования их естественной динамики и последствий на них со стороны человека. Сколько угодно детального описания достаточно сложной системы и сколь угодно совершенных вычислительных машин оказывается недостаточно для успешного математического моделирования и прогнозирования проведения системы. Необходимым является предварительное упорядочение наших знаний о моделируемой системе, правильное выделение элементарных объектов, явлений и связей между ними. Другими словами, для успеха математического моделирования необходимо не просто достаточно точное описание моделируемой системы, но использование всей суммы знаний о структуре и функционировании природных систем накопленных в соответствующих описательных еще "нематематизированных" науках.

Понимание этого обстоятельства привело к представлению о том, что на начало 70-х годов "узким местом" в успешном развитии математического моделирования в экологии является не столько плохое знание естествоиспытателями возможностей современной математики и вычислительной техники, сколько слабое знакомство математиков-модельеров с фактическим материалом и идейным багажом наук, испокон веку занимавшихся системами, ныне становящимися объектами моделирования.

Стала ясной необходимость обучения математиков-модельеров биологии, причем не только конкретным объектом (в частности экологическим), подлежащим моделированию, но и общему стилю мышления в биологии. Эта смена построений означала признание ведущей роли объекта исследования, а не инструмента. В соответствии с этим на всех школах, начиная с третьей, основная часть лекционного времени отводилась на обзорные и методологические выступления естествоиспытателей, тогда как конкретные работы по математическому моделированию обсуждались в основном на секционных заседаниях.

Второй руководящей идеей при организации школ по математическому моделированию сложных биологических систем послужило представление о том, что для успешного моделирования экологических систем недостаточно учитывать лишь опыт экологии и вообще наук об окружающей среде. Единство наук биологического цикла оказывается в глубокой аналогии (а не-

редко и совпадении) математических моделей объектов, относящихся к совершенно различным уровням организации живого. Поэтому опыт моделирования на одном уровне (скажем биохимическом) чрезвычайно полезен для всех других уровней.

В первую очередь при этом внимание должны привлекать аспекты, общие для динамического поведения и структурной организации казалось бы, совершенно различных объектов. Так, например, четвертая школа, проводившаяся под девизом: "Экстремальные состояния" и посвященная анализу поведения биологических систем при критических, близких к пороговым нагрузкам (актуальность этой темы в исследовании экологических систем и биосфера в целом трудно переоценить) позволила лучше понять некоторые универсальные свойства биологических систем, поставленных внешними нагрузками "на грань катастрофы". Очень поучительным при этом оказывается (на первый взгляд неожиданно) опыт такой, казалось бы, далекой от экологии дисциплины, как спортивная медицина, накопившей богатый материал по физиологии человеческого организма в условиях экстремальных нагрузок. Более того, медицинский принцип понимания "нормы через патологию" может быть осмыслен в общих терминах. Он означает, что зона комфорта организма (или на другом уровне – биогеоценоза) ограничена в пространстве параметров поверхностями экстремальных режимов, которые и подлежит изучать в первую очередь. Причина этой первоочередности двойная – во-первых их меньше (поверхности в пространстве или линии на плоскости), во-вторых она важнее – именно на них происходит качественная смена динамических режимов.

Подводя предварительные итоги опыта проведения шести школ по математическому моделированию сложных биологических систем можно сказать, что они помогли формированию наших нынешних представлений о методологии математического моделирования сложных систем и об организации разумного взаимодействия между естественными науками, чистой математикой и вычислительной техникой в моделировании. При организации математического моделирования представляется разумным выделение следующих этапов работы:

1. Выявление на основе наблюдений и экспериментов элементарных объектов и элементарных взаимодействий в системе и установление – с разумной степенью общности и точности – функциональных зависимостей, описывающих эти связи.

2. Построение на основе установленных зависимостей математической модели – например, системы дифференциальных уравнений – и исследование этой модели чисто математическими методами, независимо от ее биологического содержания, и даже, возможно, на основе совсем иной, например механической интерпретации математической модели. Заметим, что уже исследование достаточно сложной модели может потребовать применения ЭВМ, однако, не в этом, по-видимому, должна заключаться основная роль ЭВМ в моделировании.

3. Интерпретация полученных математических результатов в биологических терминах и их сопоставление с реальным объектом. Вероятно именно на этой стадии решающим может оказаться применение вычислительной техники. Дело в том, что для проверки правильности предсказаний модели – а значит и заложенных в ее основу предпосылок, как правило, требуется постановка новых специальных экспериментов – весь процесс моделирования представляет собой по сути циклическую процедуру. Однако, постановка таких экспериментов может быть чрезвычайно дорогостоящей, требовать слишком продолжительного времени или быть в принципе нереализуемой. Так, например, основная задача математического моделирования в экологии в том именно и состоит, чтобы избежать опасных экспериментов с реальными экологическими системами. Именно здесь может найти полезное приложение идеология и техника имитационного моделирования, позволяющая "имитировать" реальный биологический эксперимент машинным, численным. Исходная идеология имитационного моделирования заключалась в том, что раньше пытались предсказывать непосредственно поведение сложного объекта в произвольных условиях. Теперь же мы проверяем заложенные в модель предпосылки в условиях острого, разумно упрощенного, ориентированного на конкретные вопросы машинного эксперимента.

Следующий важный этап, еще нигде и никем реально не проведенный, может и должен состоять в "оснащении" имитационной модели серией упрощенных, возможно полуаналитических моделей. Эти простые модели должны описывать асимптотическое поведение громоздкой имитационной модели в экстремальных условиях и давать упрощенное описание для принятия оперативных решений.

Итак, подводя итог, можно сказать, что основной методологический результат работы школ по математическому моделированию сложных биологических систем заключается в новом

для этой области понимания того, как следует организовать взаимодействие между биологическим экспериментом, математической моделью и численным экспериментом для наиболее полного понимания функционирования исследуемой системы и предсказания ее поведения в норме и под влиянием внешних воздействий.

Публикуемая в этом выпуске библиография работ по математической экологии является вторым, расширенным изданием списка отечественных работ в этой области. Первое издание ("Математическая экология. Библиографический указатель отечественных работ". Пущино. 1975) охватывало работы до 1973 г. включительно и за 1974 г. частично. В настоящее издание включены все обнаруженные работы по 1976 г. и отчасти — за 1977 г. По материалам настоящего издания легко составить себе представление о динамике развития математической экологии в стране. В предисловии к первому изданию высказано предположение, что общее число ежегодных публикаций скоро "перевалит за сотню". И действительно в 1975 и 1976 гг. было опубликовано примерно по 170 работ. Вряд ли это число сильно возрастет в ближайшем будущем. Такая стабилизация темпов появления новых публикаций свидетельствует, вероятно, о завершении начального "детского" этапа развития математической экологии и о вступлении в пору зрелости.

К сожалению, по-прежнему работы по математической экологии разбросаны по очень большому числу часто труднодоступных источников — ведомственных сборников, гезисов докладов на самых различных конференциях и т.д. Лишь относительно небольшой процент работ публикуется в центральных научных журналах — причем также очень различного профиля. Уже из беглого взгляда на библиографию ясной становится актуальность и своевременность организации издания специального органа, посвященного вопросам математической биологии вообще, экологии в частности.

По-прежнему за редкими исключениями плохо знают советскую литературу по математической экологии на Западе, несмотря на проявляемый там интерес, свидетельством которого, в частности, явился перевод в Международном институте прикладного системного анализа первого издания настоящей библиографии на английский язык. Ни одной советской работы не появилось пока на страницах международного журнала экологического моделирования *Ecological Modeling*.

Математическая секция Научного совета по проблемам биосферы АН СССР будет признательна за любые замечания и дополнения, чтобы учесть их в дальнейших публикациях библиографий по математической экологии.

Публикуемая ниже библиография составлена С.В.Багоцким и Н.Л. Монастырской.

Председатель математической секции

д.ф.-м.н.

А.М. Молчанов

к.ф.-м.н.

А.Д. Базыкин