

МЕТОДЫ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА И МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В РЕШЕНИИ ПРОБЛЕМ ПРОГРАММЫ "ЧЕЛОВЕК И БИОСФЕРА" В СССР

А.М. Молчанов, А.Д. Базыкин

Основной целью программы "Человек и биосфера" является развитие научных основ рационального использования природных ресурсов и совершенствования отношений между человеком и окружающей его средой.

Одним из важнейших аспектов этой деятельности является понимание механизмов функционирования экосистем и предсказание последствий воздействий на них со стороны человека.

Существует несколько подходов к предсказанию поведения экосистем: использование интуиции и богатого опыта исследователей, сравнение с данными экспериментов, проделанных на тождественных или похожих системах, и, наконец, математическое моделирование. Однако в наше время масштабы и характер вмешательства человека в природные экосистемы столь беспрецедентны, что интуиция исследователя сплошь и рядом отказывает. Возможности же экспериментирования с природными экосистемами по всем понятным причинам более чем ограничены. Отсюда ясными становятся важность и актуальность математического моделирования в проектах, исследующих воздействия человека на окружающую его среду.

Интерес к вопросам математического моделирования в рамках программы МАБ возник при самой ее организации. Первой группой экспертов, созданной в рамках МАБ, была группа, занимавшаяся вопросами системного анализа и математического моделирования (апрель 1972 г.). Однако подготовленные ею рекомендации носили излишне теоретический характер и слабо повлияли на реализацию программы. В последнее время в рамках МАБ в связи с успехами в области математического моделирования, отразившимися в материалах работ СКОПЕ и МИПСА, вновь пробудился интерес к вопросам математического моделирования (см.: Заключительный доклад IV сессии Совета МАБ).

В связи с этим поучительным может быть знакомство с богатым опытом, накопленным советскими исследователями в этой области.

Работы по математическому моделированию принято подразделять на две группы: имитационные и аналитические. Раз-

деление это не является однозначным (существуют работы промежуточного характера), но для практических целей удобно. К имитационным, или, по русской терминологии, к портретным относятся модели конкретных объектов. Каждая такая модель с максимальной точностью описывает поведение какого-то одного объекта. Такие модели насчитывают обычно очень большое число (сотни и тысячи) переменных и исследуются с помощью ЭВМ. Такие модели наиболее адекватны при изучении сравнительно коротких промежутков времени и не очень сильных воздействий.

Аналитические модели призваны описывать лишь наиболее общие, принципиальные, качественные особенности поведения довольно широкого круга объектов. Они оказываются адекватными при исследовании систем, в которых происходят качественные перестройки, систем, подверженных сильным воздействиям.

Значительное развитие в последние годы получило имитационное моделирование.

Исторически первые работы по применению системного подхода и математического моделирования во взаимоотношениях человека и окружающей среды относились к водным экосистемам (по современной терминологии МАБ - к проекту № 5). Работы по математическому моделированию водных экосистем приобрели в СССР большой размах и проводятся в настоящее время под общим методологическим руководством Вычислительного центра АН СССР (чл.-корр. АН СССР Н.Н.Моисеев). Создаваемые имитационные модели описывают в настоящее время уже не только отдельные экосистемы, но целые большие регионы - водосборные бассейны крупных рек и водоемов. Примером такого рода работы является комплексная модель Азовского моря и водосборного бассейна реки Кубань, создаваемая под руководством А.Б.Горстко в Северокавказском научном центре. По классификации МАБ эту модель следует отнести не только к "горизонтальному" (географически ориентированному) проекту № 5, но и почти ко всем "вертикальным" (ориентированным на процессы и воздействия) проектам: № 9, № 10, № 13 и № 14. Эти работы являются прекрасным примером интегрирующей роли системного подхода и математического моделирования во взаимодействии специалистов в различных областях - задача, специально подчеркнутая в заключительном докладе IV сессии Международного координационного совета программы "Человек и биосфера".

Такого же типа работы, иногда более узко ориентированные на проблемы загрязнения или проблемы оптимальной эксплуатации возобновимых ресурсов, проводятся и в отношении других морей, омывающих берега СССР, — Беляев В.И. (Севастополь), А.П.Шапиро (Владивосток) и др. Работы лаборатории А.П.Шапиро примыкают также к проблематике проекта № 7.

Хотя, как отмечалось, работы по применению системного подхода были инициированы изучением водных экосистем, в последние годы методы математического моделирования все более активно используются и при исследовании наземных экосистем, а также в предсказании последствий воздействия на них со стороны человека. Работы, развиваемые в этом направлении, примыкают к проблематике проекта № 4 (работы В.В.Галицкого по моделированию процессов солевого обмена почва) и проекта № 3 (модель луга, построенная Т.Б.Гильмановым под руководством чл.-корр. АН СССР В.А.Ковды, а также изучение количественных аспектов динамики луговых экосистем, проведенное Н.И.Базилевич и А.А.Титляновой).

Большой практический интерес представляют работы по моделированию динамики лесных экосистем, в первую очередь по моделированию динамики взаимодействия леса с вредителями лесного хозяйства и по предсказанию эффективности различных мер по регуляции численности вредителей лесного хозяйства. Такие работы проводятся в Институте леса и древесины АН СССР под руководством чл.-корр. АН СССР А.С.Исаева и в Агрофизическом институте ВАСХНИЛ (Ленинград, И.А.Швытов). Тематически эти работы примыкают к проекту № 2 МАБ и перекликаются с аналогичными работами канадских исследователей (группа Холлинга), проводившимися в Университете Британской Колумбии (Ванкувер, Канада) и в Международном институте прикладного системного анализа, результаты деятельности которого специально отмечаются в заключительном докладе IV сессии Совета МАБ.

Как уже говорилось, имитационные модели способны предсказывать количественно результаты воздействия человека на природные экосистемы в том случае, если эти воздействия не приводят к качественной перестройке экосистем. Однако очень распространенным типом реакции экосистем на внешнее воздействие является слабое ("количественное") изменение при слабых, "докритических" интенсивностях воздействий, и резкое, "качественное" изменение ("ломка системы") после того, как интенсивность воздействия превышает критическую, поро-

говую. Причем результат такой ломки может быть прямо противоположен как предсказаниям имитационной модели (за рамками ее применимости!), так и соображениям "здорового смысла". Например, увеличение концентрации питательных веществ в водоеме может приводить к снижению вторичной продуктивности системы (эвтрофикация), применение инсектицидов против вредителей лесного хозяйства может приводить к вспышке их численности и т.д. Для такого поведения был даже предложен специальный термин – контринтуитивность (Форестер).

Модели, предсказывающие и описывающие такое поведение, неизбежно должны быть менее конкретными, чем имитационные. Они не должны описывать детали количественного поведения, но должны предсказывать качественные изменения системы ("катастрофу"). Платой за потерю конкретности в таких моделях является их универсальность – зачастую очень сложные математические модели правильно описывают качественно аналогичную динамику совершенно различных объектов.

Разработка универсальных критериев приближения к границе качественных изменений ("срыва") – одна из главных задач аналитического моделирования. Такого рода модели применительно к различным объектам развиваются, в частности, в НИВЦ АН СССР.

Совершенно очевидна не альтернативность, а взаимная дополняемость имитационного и аналитического моделирования применительно к проблематике программы МАБ – мы должны знать и количественную реакцию окружающих нас систем на умеренные воздействия, и уметь предвидеть приближение качественных изменений, "катастрофы".

На V сессии Совета МАБ члены Совета "согласились с тем ..., что когда опытно-показательные проекты определены в рамках проектной области ... следует создавать специальную целевую группу по системному анализу". Опыт советских исследований в этой области подтверждает правильность этой рекомендации.