

Пузаченко Юрий Георгиевич

ПРИОРИТЕТНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

(Выступление на Закрытии Пятой национальной конференции с международным участием «Математическое моделирование в экологии», Пущино, 20 октября 2017 г.)

В общей дискуссии в последний день совещания ЭкоМатМод-2017, когда большинство участников традиционно покинули его, я позволил выступить с краткой формулировкой проблем, которые представляются мне наиболее актуальными на ближайшие десять – пятнадцать лет. Оргкомитет совещания посчитал, что я сказал что-то полезное и предложил изложить основные идеи моего «спича» на «бумаге». Они сводятся к следующему.

Основным недостатком подавляющего большинства заслушанных нами моделей является их механистичность. Трудно представить биологическую систему не изменяющей свои параметры в ходе ее динамики по умолчанию принимаемые в большинстве представленных на совещании моделей. Биологические системы всегда содержат механизмы саморегуляции, ориентированные на поддержание некоторой функции, которую можно определить как целевую. В этом смысле они относятся к классу функциональных систем, определенных П.К. Анохиным (П.К. Анохин ПРИНЦИПАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ОБЩЕЙ ТЕОРИИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ. ПРИНЦИПЫ СИСТЕМНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ФУНКЦИЙ. М., «Наука», 1973, с. 5-61). По Судакову «Функциональные системы — динамические, самоорганизующиеся, саморегулирующиеся построения, все составные компоненты которых содружественно объединяются для достижения полезных для самой системы и организма в целом — приспособительных результатов» (К.В. Судаков. РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ В НАУЧНОЙ ШКОЛЕ П. К. АНОХИНА. Электронное периодическое издание «Вестник Международной академии наук. Русская секция», 2011, №1). В мировой науке это понятие имеет в целом тот же смысл.

Теория функциональных систем получила развитие, прежде всего, в физиологии и поведении организмов, но не оказала практического влияния на развитие моделирования экологических систем. Конечно, применительно к экологическим системам модели могут быть проще, чем для организма, но, очевидно, что они приведут к существенным нелинейностям и соответствующей динамике. Выбор «цели» может определяться, исходя из различных разумных предположений, а модель должна дать представление о возможной динамике при избранной цели.

Основной пафос моего выступления в общей дискуссии сводился к тому, что число элементов в множестве русскоязычного математического моделирования экологических систем в сопоставлении с мощностью множества «мировой сообщества» - ничтожно. Соответственно, чтобы занять достойное место в мировой науке и продолжить славную традицию Колмогорова, Костицина, Свирежева и др. мы должны работать на передовых, слабо разработанных направлениях науки и искать решение нерешенных задач. Естественно мои представления об этих задачах, опирающиеся на анализ текущей экологической и эколого-математической литературы, неизбежно ограничены и безусловно не

исчерпывают существующих проблем. Но здесь важны не столько проблемы, которые я попытаюсь сформулировать, сколько сформулированная выше целевая функция.

Будем исходить из трех уровней описания природных систем: макроскопического, мезоскопического и микроскопического. Теоретически их должна интегрировать синергетика. Однако в мировой науке приложения ее идей в экологии ограничено и редко выходит за рамки общих методологических оснований. Очевидно, что макроскопический уровень – область господства статистической механики и термодинамики. К этому же уровню можно отнести модель самоорганизованной критичности, вообще проблемы самоорганизации и теорию фракталов. В мировой экологии это направление представлено довольно широко. В русскоязычной экологии анализ систем с этих теоретических позиций и развитие соответствующих моделей – крайне ограничено. Вместе с тем модная проблема биологического разнообразия, очевидно, прямо связана с макроскопическим подходом к природным объектам. Можно полагать, что теория биологического разнообразия лежит в области неаддитивной статистической механики.

Мезоскопический уровень рассматривается в основном в рамках теории динамических систем. Здесь необходимо выделить экологическую проблему соотношения континуальности и дискретности, условия становления целостных экологических образований, природы и условий возникновения дискретных границ в пространстве и времени, динамику экологических систем и т.п. Эти темы начинают активно исследоваться в мировой науке. Теоретическая основа континуальности растительных и животных сообществ хорошо обоснована в работах наших красноярских коллег биофизиков (Абросов, Дагерминджи и др.). Развитая ими теория существенно богаче ресурсной модели Тильмана и модели стратегий Гримма, которые являются ее частным случаем. Однако весьма печально, что эта теория не получила применения и развития в конкретных моделях многовидовых сообществ, в том числе и в моделях пространственно-временной динамики экосистем. Она практически неизвестна мировой науке и, впрочем, мало известна и в русской экологии.

Накапливающиеся данные по реальной динамике показывают, что механистические модели сукцессий неадекватны реальности. Показано, что их динамика существенно зависит от начальных условий. В ходе саморазвития существуют точки бифуркаций и, в конечном итоге, реальность соответствует динамике нелинейных систем. Однако в этой области существуют скорее гипотезы, чем модельные результаты.

Теоретическая математическая основа возникновения и эволюции целостных, организменно подобных экосистем с резкими границами, как и вообще теория возникновения границ в гомогенной и гетерогенной среде практически не разработана. Арманд и Ведюшин (1989) показали, что дискретные границы (триггерный эффект) возникают на основе положительных обратных связей, исследование которых в теории динамических систем весьма ограничено. В мировой экологической науке исследованию вклада положительных обратных связей в пространственно-временную динамику систем последнее время уделяется все большее внимание. Речь идет о положительных связях как между организмами, так и между организмами и средой.

Довольно хорошо разработана модель гидравлического лифта, определяющая устойчивое обеспечение растений почвенной влагой. Показано, что дискретные границы и «целостные» образования достоверно чаще реализуются в условиях общего стресса для растений, чем в области оптимума. Однако общей математической теории условий возникновения целостных экосистем (биогеоценозов) не существует. Сюда же относится проблема количественного описания эмерджентных свойств, как неперенного атрибута целостности.

Очевидно, что мое выделение приоритетных проблем весьма субъективно. Я не остановился на проблемах пространственно-временной динамики популяций и метапопуляций при взаимодействии с ресурсами и хищниками, моделей взаимодействия в пространстве жертв и хищников (паразит-хозяин), моделей поведения животных и роли в этом поведении обучения. Не коснулся также важной проблемы о роли информации и памяти в пространственно-временной организации биологических систем.

Алгоритм поиска проблемных областей в современной науке при наличии интернета достаточно прост. Пусть Вам заданно разработать модель какого-либо явления. Вы исходите из того, что не Вы пионер в решении этой задачи. Осуществите максимально полный поиск по теме. Разберитесь в существующих подходах и реализациях. Выделите проблемные области, не получающие ответа в рамках существующих моделей и сформулируйте проблему, которую необходимо решить.

Конечно, любую модель можно сколь угодно совершенствовать, уточняя параметры, добавляя связи, расширяя натурную верификацию. Очевидно, что нет предела совершенству. Но часто примерно ясно, что даст соответствующая модификация, а если не ясно, то можно рассмотреть поведение для достаточно контрастных взаимодополняющих условий, не вдаваясь в детали и не стремясь достигнуть полного портрета реальности. Важнее иметь качественные следствия модели, а количественно все можно подогнать, если этого потребует практика. В этом случае именно практическая задача определит требуемую детальность.

Отмечу в скобках, что не следует, определяя качество моделей использовать знаменитый R^2 . Чаще всего это обман. Коэффициент детерминации может быть большим, а отклонения модели от реальности систематические. Следовательно, сколь бы не был высок коэффициент детерминации, модель не соответствует реальности и надо искать или дополнительный параметр или дополнительную переменную. Часто область систематического отклонения подсказывает природу дефекта модели.

Таким образом, дорогие коллеги призываю вас искать и обосновывать проблемные области в экологии и разрабатывать для них модели, раскрывающие отношения и механизмы, определяющие поведение рассматриваемой вами реальности и делать то, что никто в мире не сделал.