

**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.*