

УДК 519.68

К.А. Китаева

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Компания «Ангстрем», г.Воронеж

В статье рассматриваются особенности создания математических моделей для анализа состояний экологических систем. Отмечены характеристики, относящиеся к прогнозу макросостояний экосистем.

Ключевые слова: экология, математическое моделирование.

В настоящее время идет развитие моделей для различных экосистем. Когда говорят адекватности применяемых математических моделей для экосистем, то имеют в виду в основном аналитические модели. Но подобные оценки можно осуществить и для других видов моделирования, например, для имитационного [1-3]. Внутренним критерием адекватности выступает факт неотрицательности фитомассы популяций в точках равновесия. На основе только этого критерия обе модели должны быть призваны внутренне адекватными и для дальнейшей оценки их адекватности следует привлекать внешние критерии.

Целью данной работы является анализ основных характеристик математического моделирования экологических систем.

При выборе внутренних критериев можно формировать соответствующие наборы характеристик, задействованных в моделях [4-6]. При этом если есть набор характеристик, на основе которых определяется динамика некоторой экосистемы, реализованная в имитационной модели, а также набор характеристик, применяемых в самоорганизующейся модели этой же экосистемы, то возможны четыре ситуации [7-].

Ситуация 1. В имитационной модели отсутствуют некоторые существенные факторы. Здесь и далее под существенными понимаются факторы, включенные ЭВМ (без субъективного выбора исследователем) в оптимальную по своей структуре модель, которая является самоорганизующейся и построена на основе результатов натуральных наблюдений над экосистемой. Таким образом, имитационная модель считается недоусложненной и признается внутренне неадекватной.

Ситуация 2. В имитационной модели присутствуют "лишние" факторы (несущественные по результатам самоорганизации). Имитационная модель считается переусложненной, но может быть признана внутренне адекватной.

Ситуация 3. В созданной имитационной модели, в одно и то же время, нет части значительных характеристик и есть часть несущественных характеристик. В этом случае имитационная модель одновременно является недо- и переусложненной по сравнению с соответствующей самоорга-

низирующей моделью и также должна быть признана внутренне неадекватной.

Ситуация 4. Списки факторов, характеризующих состояние экосистемы в имитационной и самоорганизующейся моделях, совпадают (фактически этой ситуации соответствует рассмотренный выше вариант сравнения аналитических моделей взаимодействия популяций растений). Имитационная модель должна быть признана внутренне адекватной.

Дальнейшая оценка адекватности моделей в ситуациях 2 и 4 должна осуществляться с привлечением внешних критериев.

Интересной характеристикой современного этапа формирования экологии можно считать активное внедрение разных подходов, связанных с математическим моделированием, которое необходимо рассматривать как изменение традиционного понятия "эксперимент", которое встречается в естественных науках. При этом можно говорить о создании достаточно обособленной области экологических исследований, которая включает в себя специфические методы. Это математическая экология. Что дает использование в экологии математических методов? В первую очередь математические модели для экосистем следует применять для достижения целей объяснения и прогнозирования различных происходящих в природе явлений. Можно сказать, что при этом, конечно, получается задача, связанная с оценкой соответствия таких моделей реальным экологическим системам. Однако говорить об адекватности моделей вообще, как о некотором едином и присущем всем моделям качестве, нельзя. В настоящее время много работ, посвященных вопросам оценки адекватности математических моделей изучаемым сложным системам, анализ которых позволяет различать гиосеологические и праксеологические свойства моделей. Соответственно, далее будем говорить о собственно адекватности модели (качественная адекватность - соответствие отображения и модели структуры и механизмов функционирования экосистем) и опраксеологичности (количественная адекватность - применимость модели для практических действий: прогнозирования, управления и пр.). Подобное разделение обусловлено различиями технологий конструирования моделей, характером используемой информации, целями моделирования и пр.

Учитывая, что все многообразие математических моделей можно свести к четырем основным парадигмам (вербальной, функциональной, эскизной и имитационной), то для перечисленного второго типа целесообразно говорить только об их условной практической значимости, так как при использовании моделей вида «вход – выход» во многих случаях не отражаются ни структура, ни механизмы функционирования экосистем. Такие модели могут быть полезными с точки зрения практики, поскольку вследствие они имеют точность в своих прогнозах. Но при этом они не вполне могут быть адекватны реальным объектам. Если говорят об аналитических

моделях, то, наоборот, при их формировании ученые стремятся к тому, чтобы осуществить упрощения первоначальной экосистемы, для того, чтобы определить наиболее значительные связи. Такие упрощения могут быть довольно значительными [12-15]. Рассматриваемые модели основываются лишь на априорной информации и необходимы для того, чтобы проводить объяснение наблюдаемых в природе явлений.

В этой связи, для аналитических моделей имеет смысл говорить лишь о гносеологической адекватности [16-20]. Наконец, обе стороны адекватности как общей характеристики моделирования проявляются в имитационных моделях. В них хорошая точность прогнозирования может быть получена вследствие отображения в модели структуры и механизмов функционирования экосистем.

Критерии оценки и собственно адекватности, и праксеологичности весьма многочисленны и также могут быть разделены на два основных класса – внутренние и внешние. Для оценки практической значимости моделей указанное разделение достаточно понятно. Происходит формирование внутренних критериев на той же информации, в рамках которой делалась модель, а внешние используют для формирования новую информацию. Для оценки собственно адекватности моделей различие критериев более сложное. Например, можно считать внутренними критериями теоретические предпосылки самой экологии (модель роста численности или биомассы некоторой популяции, приводящая к отрицательным значениям этих характеристик, должна быть признана неадекватной). В этом случае внешние критерии требуется строить, опираясь на математическое обеспечение для экосистем. Так, нельзя признать адекватным объяснение случайности наблюдаемых колебаний численности некоторой популяции, если в математическую модель ее роста непосредственно введен случайный фактор; другое дело, если такое квазислучайное поведение возникает при анализе детерминированной математической модели (всякого рода турбулентности или "странные аттракторы").

Отдельным, представляющим интерес вопросом является прогноз макросостояний экосистем.

Необходимость перехода к рассмотрению макросостояний можно обосновать следующими соображениями. При всем многообразии методов построения прогнозных моделей в них есть много общего, а именно - схема предсказания очередного состояния системы: прогноз текущего микросостояния (конкретного значения параметра в количественной шкале) и перевод его в макросостояние путем использования дихотомического фильтра (например, если предсказанная численность байкальского фитопланктона рода *Melosira* велика, то данный год предсказывается как урожайный, "мелозирный"). Кратко, данную схему моделирования можно

назвать так: "макросостояние через микросостояние". Как показало время, эта схема часто порождает прогнозы невысокого качества.

В условиях отсутствия информации о механизмах предсказываемых явлений и существенной неоднородности наблюдений микросостояний (например, численность каляноид - NCAL) следует использовать другую схему прогнозирования: "микросостояние через макросостояние". При этом процедура прогнозирования распадается на ряд этапов: бинаризация прогнозируемого временного ряда (при этом, естественно, происходит потеря некоторой доли информации), прогноз макросостояний и построение условных (в зависимости от макросостояния) предикторов микросостояний. Успех реализации этой схемы определяется как надежностью прогноза макросостояния, так и возможно большей надежностью прогноза "более однородных" групп микросостояний (например, прогноз только "мелозирных" или только "не мелозирных" годов).

Бинаризовать временной ряд можно путем сравнения его с некоторыми статистическими характеристиками - средняя, медиана, бивес-оценка: все, что больше этой характеристики, получает оценку 1, все, что меньше, - 0.

При построении соответствующих информационных систем необходимо обращать внимание на правильный интерфейс и формат данных в системе.

В базе данных будет храниться вся необходимая информация по исходным данным, а также по результатам расчета.

Выводы. При построении математических моделей экосистем исследователь должен адекватным образом учитывать влияние как внутренних, так и внешних факторов. В большинстве случаев с точки зрения практики представляет интерес использование имитационного моделирования. При этом прогноз макросостояний экосистем должен выделяться как решение отдельной задачи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Семенова В.А., Калаев В.Н., Преображенский А.П., Голуб В.Б. Способ оценки загрязнения окружающей среды / патент на изобретение RUS 2372617 26.05.2008/
2. Артюхов В.Г., Калаева Е.А., Путинцева О.В., Преображенский А.П. Математические модели кислородсвязывающей функции интактного и модифицированного УФ-облучением гемоглобина человека в присутствии оксида углерода / Биофизика. 2007. Т. 52. № 1. С. 24-32./
3. Калаев В.Н., Калаева Е.А., Преображенский А.П., Хорсева О.В. Регрессионный анализ в биологических исследованиях

- /Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2007. Т. 6. № 3. С. 755-759./
4. Калаев В.Н., Артюхов В.Г., Преображенский А.П. Способ изучения суточного ритма цитогенетических показателей древесных растений /патент на изобретение RUS 2365091 05.12.2007/
 5. Калаев В.Н., Карпова С.С., Артюхов В.Г., Львович И.Я., Преображенский А.П. Способ изучения суточного ритма цитогенетических показателей древесных растений / патент на изобретение RUS 2365092 05.12.2007/
 6. Артюхов В.Г., Калаева Е.А., Путинцева О.В., Преображенский А.П. Параметры кислородсвязывающей функции гемоглобина человека, модифицированного оксидом углерода и УФ-светом / Радиационная биология. Радиоэкология. 2008. Т. 48. № 2. С. 177-184./
 7. [http://www.ievbras.ru/ecostat/Kiril/Library/Book2/Content999/Content_z.htm./](http://www.ievbras.ru/ecostat/Kiril/Library/Book2/Content999/Content_z.htm/)
 8. [http://skachate.ru/matematika/38127/index.html./](http://skachate.ru/matematika/38127/index.html/)
 9. [http://skachate.ru/himiya/17207/index.html./](http://skachate.ru/himiya/17207/index.html/)
 10. [http://www.ievbras.ru/ecostat/Kiril/Library/Book2/Content510/Content510.htm./](http://www.ievbras.ru/ecostat/Kiril/Library/Book2/Content510/Content510.htm/)
 11. [http://kzdocs.docdat.com/docs/index-41250.html./](http://kzdocs.docdat.com/docs/index-41250.html/)
 12. Калаев В.Н., Буторина А.К., Левински М.В., Преображенский А.П. Оценка генотоксичности окружающей среды в городах республики Молдова по результатам микроядерного теста в буккальном эпителии детей / Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2008. Т. 7. № 1. С. 196-200./
 13. Калаев В.Н., Калаева Е.А., Артюхов В.Г., Преображенский А.П. Применение кластерного анализа в биологических исследованиях /Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2007. Т. 6. № 4. С. 1008-1014./
 14. Львович И.Я., Куролап С.А., Сербулов Ю.С., Корчагина В.А., Преображенский А.П. Геоинформационное моделирование и оценка качества окружающей среды / Вестник Воронежского государственного технического университета. 2008. Т. 4. № 9. С. 42-45./
 15. Львович И.Я., Преображенский А.П., Орешкин М.А., Калаев В.Н. Разработка обучающей системы по генетическим показателям / Вестник Воронежского государственного технического университета. 2010. Т. 6. № 1. С. 4-6./

16. Вострикова Т.В., Калаев В.Н., Преображенский А.П., Львович И.Я. Оценка степени загрязнения окружающей среды по морфологическим показателям однолетних цветочно-декоративных растений (на примере петунии гибридной) / Вестник Воронежского государственного технического университета. 2008. Т. 4. № 10. С. 9-13./
17. Калаев В.Н., Игнатова И.В., Карпова С.С., Попова А.А., Преображенский А.П., Львович И.Я. Интернет-ресурс, посвященный цитогенетическим исследованиям древесных растений / Вестник Воронежского государственного технического университета. 2010. Т. 6. № 8. С. 94-97./
18. Вострикова Т.В., Калаев В.Н., Воронин А.А., Преображенский А.П., Львович И.Я. Влияние природно-климатических факторов на фенологические показатели петунии гибридной / Вестник Воронежского государственного технического университета. 2011. Т. 7. № 3. С. 56-60./
19. Баранова Т.В., Калаев В.Н., Воронин А.А., Симонова Л.И., Преображенский А.П., Львович И.Я. Сортооценка по декоративным признакам некоторых Ла-гибридов лилии, выращенных на субстратах различного состава / Фундаментальные исследования. 2012. № 4-1. С. 177-179./
20. Баранова Т.В., Калаев В.Н., Воронин А.А., Преображенский А.П., Львович И.Я. Успешность интродукции сортов *lobelia erinus* L. в центральном черноземье / Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. 2011. Т. 16. № 6. С. 1580-1582/

К.А. Kitaeva

**THE MAIN FEATURES OF
MATHEMATICAL MODELING OF ECOLOGICAL SYSTEMS**

The company "Angstrem", Voronezh

The paper discusses the features of the creation of mathematical models for the analysis of ecological systems. The characteristics, referring to the forecast-schiesya macro-ecosystems are pointed out.

Keywords: ecology, mathematical modeling.