

АДАПТИВНАЯ САМООРГАНИЗАЦИЯ ПРИРОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ

Ланкин Ю.П., Печуркин Н.С.

Институт биофизики СО РАН, Красноярск, Россия
lan7@mail.ru

Аннотация: моделирование экологической сложности требуется для описания и понимания особенностей динамики экосистем и биосферы. На пути создания таких моделей встают проблемы "проклятья размерности", потери устойчивости моделей с ростом сложности и др. Их преодолению посвящены методы, развиваемые Концепцией самоорганизующихся адаптивных систем. В работе демонстрируется эффект адаптивной самоорганизации модели экосистемы к стационарному состоянию.

1. Проблемы методологии

Констатируя огромные достижения современной науки, нельзя не отметить и белые пятна в ее методологии, ограничивающие возможности описания и моделирования сложных природных систем, таких как биосфера и ее экосистемы.

Среди наиболее известных проблем классической методологии можно назвать: "проклятье сложности" или "проклятье размерности", ухудшение устойчивости моделей с ростом сложности (что противоречит свойствам реальных экосистем), проблему масштабирования теоретических и экспериментальных моделей (сохранение свойств от простого к сложному), проблему соответствия структуры и функции (множество структур могут соответствовать одной функции и наоборот), очень быстрое нарастание трудностей качественного анализа с ростом числа уравнений модели и др.

В качестве иллюстрации рассматриваемых проблем можно привести цитату из работы (Барцев, Барцева, 2007): "Однако на фоне определенных успехов в описании биологических подсистем и процессов (...) *успехи биофизики в познании общих свойств живого* (биологии, кстати, тоже), *более чем скромны.*"

2. Методы Концепции самоорганизующихся адаптивных систем

В предыдущей работе (Ланкин, 2009) мы рассмотрели Концепцию Самоорганизующихся Адаптивных Систем (сокращенно КАС), развиваемую с целью преодоления существующих методологических ограничений.

В данной работе показано ее применение для моделирования известного эффекта стремления экосистем к стационарным состояниям. Выдвигается гипотеза, рассматривающая стремление к стационарности (которая не обязательно достигается), как одно из базовых свойств, объясняющих высокую устойчивость биосферы и ее экосистем к деструктивным (в частности антропогенным) воздействиям. КАС позволяет смоделировать действие принципа Ле Шателье (в кибернетике – принцип отрицательной обратной связи) для экологических моделей любого разумного уровня сложности. Стационарное состояние в модели достигается динамически путем подстройки ее параметров прямо в процессе ее функционирования. Наличие множества стационарных состояний позволяет экосистеме сохранять устойчивость в ответ на широкий спектр разнообразных воздействий.

3. Модель экосистемы

Модель экосистемы представляющая собой систему дифференциальных уравнений первого порядка, предложена в книге (Гительзон, Печуркин, 2002). Система дифференциальных уравнений, соответствующая замкнутой экосистеме, содержит следующие обозначения: S, P, C, D - концентрации биогенных элементов, продуцентов, хищников и детрита, соответственно; μ_2 , μ_3 , μ_i - удельные скорости роста продуцентов и хищников 1-го и i-го родов ($i=3...n$); F - скорость

поступления лимитирующего вещества; S_0 - начальная концентрация биогенных элементов; Y_2 , Y_3 , Y_i - экономический коэффициент роста продуцентов, хищников 1-го рода и хищников i -го рода; ε_2 , ε_i - удельные скорости отмирания продуцентов и хищников; ε_d - скорость разложения детрита; q - коэффициент возврата биогенных элементов в экосистему. Модель имеет следующий вид:

$$\dot{S} = F(S_0 - S) - \frac{\mu_2 P}{Y_2} + \sum_{i=3}^n q \left(\frac{1}{Y_i} - 1 \right) \mu_i C_i + q \varepsilon_d D$$

$$\dot{P} = \mu_2 P - \varepsilon_2 P - \frac{\mu_3 C_3}{Y_3}$$

$$\dot{C}_i = \mu_i C_i - \varepsilon_i C_i - \frac{\mu_{i+1} C_{i+1}}{Y_{i+1}}$$

$$\dot{D} = \varepsilon_2 P + \sum_{i=3}^n \varepsilon_i C_i - \varepsilon_d D$$

4. Результаты моделирования

В процессе проведения численных экспериментов модель экосистемы была дополнена уравнением для детрита (Барцев, 2005). Результаты экспериментов приведены на рисунках.

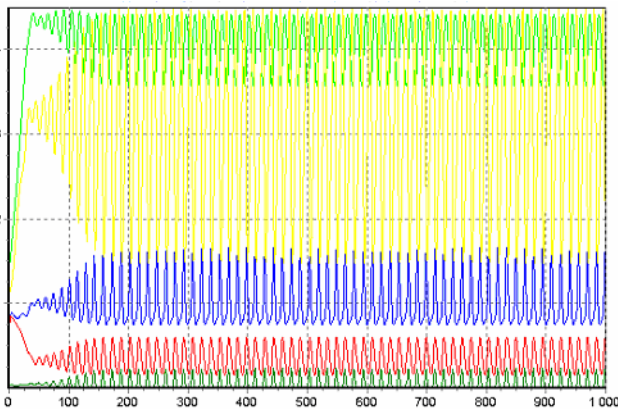


Рисунок 1 – Неустойчивое поведение модели экосистемы, характеризуемое уходом ее из стационарного состояния в опасный (для реальной экосистемы) режим колебаний.

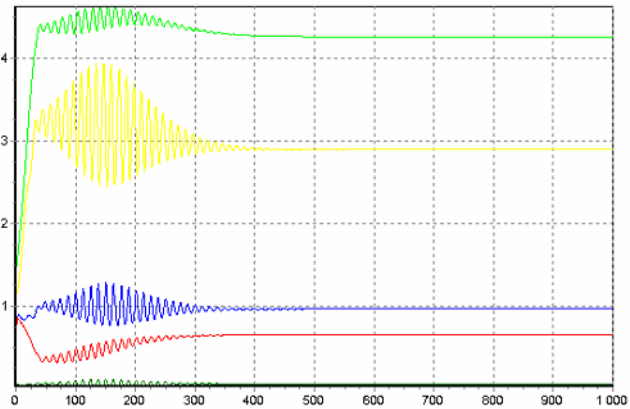


Рисунок 2 - Адаптивная самоорганизация модели экосистемы, возвращающая ее из режима колебаний к стационарному состоянию (формирование аттрактора).

Как указывается в (Гиляров, 1990), получить колебательные режимы типа Лотки-Вольтерра даже в лабораторных условиях очень трудно. Приведенные результаты демонстрируют, что методы КАС позволяют сблизить поведение экологических моделей с поведением реальных экосистем, стремящихся к стационарным состояниям.

Литература

- Барцев С.И. Теоретические модели в решении ключевых задач биосферики: Дисс. докт. физ.-мат. наук.- Красноярск, 2005. - 221 с.
- Барцев С.И., Барцева О.Д. Эвристические нейросетевые модели в биофизике.- СФУ: Красноярск, 2007. - 92с.
- Гиляров А.М. Популяционная экология.- М.: Изд-во МГУ, 1990.- 191 с.
- Ланкин Ю.П. Моделирование экологической сложности на основе самоорганизующихся адаптивных сетей // Материалы Национальной конференции с международным участием "Математическое моделирование в экологии" ЭкоМатМод-2009.- Пущино: ИФХиБПП РАН, 2009. - С.153-154.
- Экологическая биофизика. Том 3. Экология и биофизика: время интеграции / Ответственные редакторы: академик И.И. Гительзон, профессор Н.С. Печуркин.- М.: Логос, 2002. - 304 с.
- Ланкин Ю.П., Печуркин Н.С. Адаптивная самоорганизация природных экосистем // Материалы второй Национальной конференции с международным участием "Математическое моделирование в экологии" ЭкоМатМод-2011, 23-27 мая 2011.- Пущино: ИФХиБПП РАН, 2011.- С.149-151.