

ФРАКТАЛЫ В МОДЕЛИРОВАНИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

*Национальный технический университет "Харьковский
политехнический институт", Украина*

Анализируется метод фрактального моделирования экологических динамических систем. Перечисляются преимущества данного метода. Классификация фракталов.

Постановка проблемы. Современный подход к изучению сложных динамических систем связан с разработкой все усложняющихся методов исследования объектов со сложной структурой. Относительно экологических систем требуется всестороннее изучение биофизических процессов, происходящих в экосистемах, и разработка методов контроля динамики их состояния. Однако, при изучении любой подобной системы ученые сталкиваются с проблемой, суть которой – огромный разрыв между математической и экспериментальной (полевой) экологией. Сложившаяся ситуация сильно затрудняет исследование биосферы и ее экосистем из-за невозможности охвата фантастической сложности живых систем в рамках качественных представлений без использования количественных моделей.

При экологическом моделировании сложных природных систем, таких как биосфера и ее экосистемы, исследователь сталкивается со следующими проблемами: «Каждое отдельное действие или вмешательство в систему обретает коллективный аспект, который может повлечь за собой совершенно неожиданные глобальные изменения. ...Не только каждое состояние системы, но и само определение системы в том виде, в каком ее описывает модель, обычно нестабильно или, по крайней мере, метастабильно. ...Очень часто отклик системы на возмущение оказывается противоположным тому, что подсказывает нам наша интуиция. ...Мы приучены мыслить в терминах линейной причинности, но теперь нуждаемся в новых "средствах мышления"» [1]. Это высказывание одного из основателей синергетики, делает понятным трудности математической экологии. А также поясняет необходимость создание новой, "своей" математики для моделирования эко- и биосистем, которая сможет отразить парадоксальные свойства живой природы.

Анализ основных исследований и публикаций. В середине 80-х годов XX века сформировался новый подход к анализу структуры экологических систем, объединяющий степенные законы и самоподобие в контексте теории фракталов. Термин “фрактал” был предложен Б. Мандельбротом для обозначения нерегулярных, но самоподобных структур [2]. Одно из определений фрактала, данное Мандельбротом звучит следующим образом: “Фракталом называется структура, состоящая из

частей, которые в каком-то смысле подобны целому”. Самоподобие как сходство сложных структур на разных масштабах отражено в теории фракталов [3]. Правильные (математические) фракталы получают простыми итеративными процедурами. В своей нынешней форме теория фракталов связана с теорией хаоса [4]. Детерминированный хаос представляется в современной науке не как беспорядок, а как сложная форма порядка с большим числом степеней свободы. Здесь же возникает понятие фрактальных (нецелых) размерностей, проявляющихся во многих сложных процессах. Для анализа степени самоподобия обычно используется показатель Херста. В теории фрактальных систем выполнено большое количество работ отечественными учеными. Особенно интересные работы связаны с мультифрактальным анализом изображений динамических систем, выполненных Учаевым Д. В., Малинниковым В. А., Никольским А. Е. [5].

Основная часть. Используемые в настоящее время в науке методы, в большинстве своем, базируются на приближенном представлении структур геометрическими объектами с целыми размерностями (точками, линиями, поверхностями). Основным недостатком такого рода методов является то, что они характеризуют структуру на одном либо нескольких масштабных уровнях, не позволяя получить масштабно-инвариантного описания природных структур. Таким образом, все эти методы не учитывают одного из важнейших качеств системы – целостности, выражающейся в принципиальной несводимости свойств системы к сумме свойств составляющих ее элементов и не выводимости из последних свойств системы.

Математический аппарат, построенный на основе представлений о фракталах и фрактальных множествах, позволяет объяснить или даже предсказать экспериментально наблюдаемые факты и явления в различных областях. Действительно, экосистемы представляют собой открытые неравновесные системы, строение и эволюция которых определяются приходящим из окружающей среды потоком энергетических ресурсов. Потоки энергии и вещества, приходящие через открытые системы, обеспечивают возникновение в них эффектов самоорганизации – образование макроскопических диссипативных структур. Эти структуры обладают имманентной структурной универсальностью.

Количественное описание пространственной структуры сложных динамических систем, к которым можно отнести и экосистемы, с использованием фрактального подхода позволяет выделять иерархические уровни структурной организации этих систем, строить модели, воспроизводящие иерархическую структуру пространственной организации динамических объектов. С помощью фракталов эти структуры можно создавать и использовать в компьютерных программах.

Использование концепции фракталов позволяет давать адекватную количественную оценку не только конфигурации исследуемой структуры в

целом, но так же неоднородности распределения на ней геометрических, физических, химических и др. характеристик, соответственно природе изучаемой структуры, что невозможно достигнуть обычными методами. Имеющийся опыт в области численного фрактального описания изображений структур самой различной природы показывает его эффективность при анализе скрытых процессов, т. е. таких процессов, которые нельзя наблюдать непосредственно, но при этом они существенно влияют на характеристики изучаемых систем.

В основном фракталы делят на: геометрические, алгебраические и стохастические.

Геометрические фракталы. В двумерном случае фракталы можно получить, задав некоторую ломаную, называемую генератором. За один шаг алгоритма каждый из отрезков, составляющих ломаную, заменяется на ломаную-генератор, в соответствующем масштабе. В результате бесконечного повторения этой процедуры (а точнее, при переходе к пределу) получается фрактальная кривая. При видимой сложности полученной кривой, её общий вид задается только формой генератора. Примерами таких кривых служат: кривая дракона, кривая Коха, кривая Леви, множество Кантора, треугольник Серпинского, коврик Серпинского.

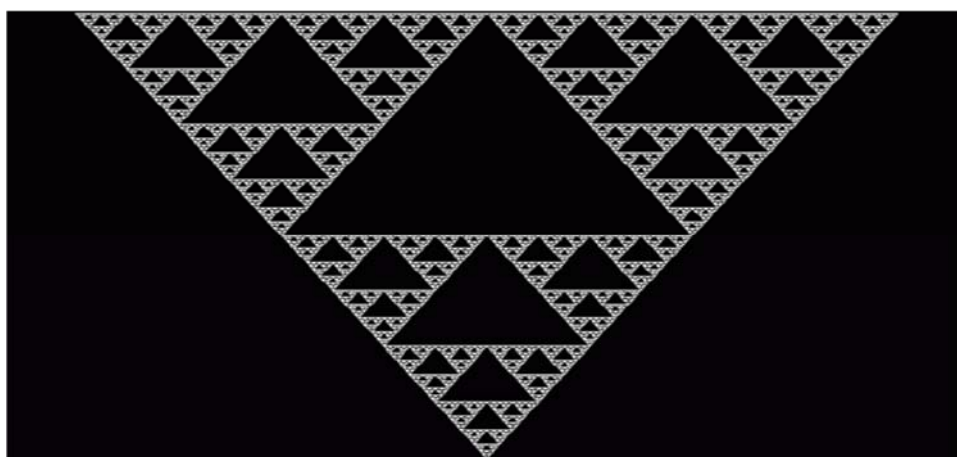


Рис. 1. Треугольник Серпинского

Алгебраические фракталы. Для построения алгебраических фракталов используются итерации нелинейных отображений, задаваемых простыми алгебраическими формулами. Наиболее изучен двумерный случай. Нелинейные динамические системы могут обладать несколькими устойчивыми состояниями. Каждое устойчивое состояние (аттрактор) обладает некоторой областью начальных состояний, при которых система обязательно в него перейдет. Таким образом, фазовое пространство разбивается на области притяжения аттракторов. Если фазовым является двумерное пространство, то, окрашивая области притяжения различными цветами, можно получить цветовой фазовый портрет этой системы

(итерационного процесса). Меняя алгоритм выбора цвета, можно получить сложные фрактальные картины с причудливыми многоцветными узорами. Примеры алгебраических фракталов: множество Мандельброта, множество Жюлиа, бассейны Ньютона, биоморфы.

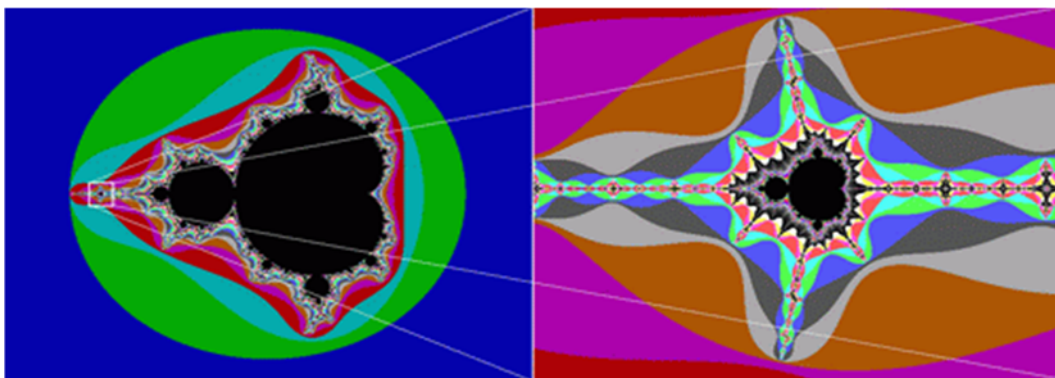


Рис. 2. Множество Мандельброта

Стохастические фракталы. Все природные объекты создаются по капризу природы, в этом процессе всегда есть случайность. Фракталы, при построении которых в итеративной системе случайным образом изменяются какие-либо параметры. Называются стохастическими. Эти фракталы наиболее интересны для физиков, так как находят свое отражение в физических процессах. Соотношение случайности и закономерности может быть разным.

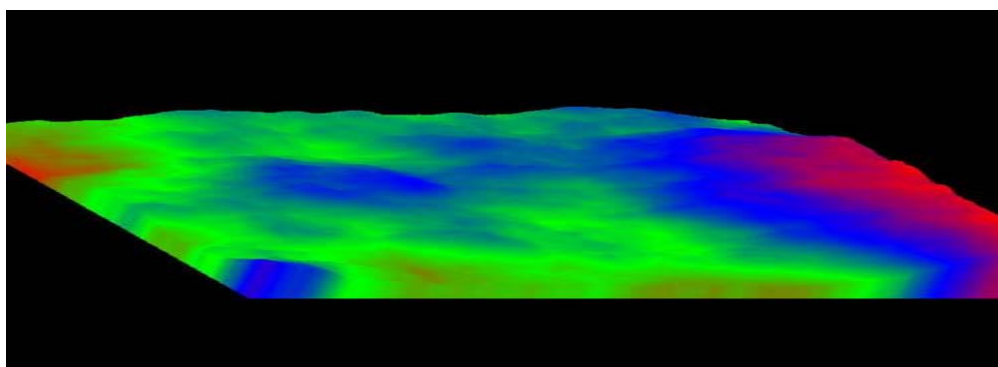


Рис. 3. "Плазма"

Выводы: Количественное описание пространственной структуры природных систем с использованием фрактального подхода позволяет выделять иерархические уровни структурной организации природных систем, строить модели, воспроизводящие иерархическую структуру пространственной организации природных систем, а также формулировать гипотезы о возможных механизмах генезиса. В связи с перечисленными преимуществами метода фрактального моделирования мы видим целесообразным его применение в моделировании экологической системы, в том числе и созданной искусственно человеком на производстве. Этому вопросу будут посвящены дальнейшие исследования.

Литература

1. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой: Пер. с англ. М.: Эдиториал УРСС, 2001. 312 с.
2. Mandelbrot B.B. "Fractals, Form, chance and dimension" (San – Francisko, 1997).
3. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы: Пер. с англ. М.: Институт компьютерных исследований, 2002. 656 с.
4. Кроновер Ричард М. Фракталы и хаос в динамических системах: Пер. с англ. М.: Техносфера, 2006. 488 с.
5. Мультифрактальный математический анализ синергетических структур // Труды Международной научно-практической интернет-конференции «Перспектива и развитие».- М.:МФТИ, 2004. (соавторы Малинников В. А., Никольский А. Е., Учаев Д. В.)

ФРАКТАЛИ В МОДЕЛЮВАННІ ЕКОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ

Е.С. Сидоренко, В.В. Халиль

Аналізується метод фрактального моделювання екологічних динамічних систем. Перераховуються переваги даного методу. Класифікація фракталів.

FRACTALS IN THE MODELLING OF ECOLOGICAL SYSTEMS

E. Sidorenko, V. Halil

The method of fractal modeling of ecological dynamic systems is analyzed. Benefits of this method are listed. The classification of fractals.