

Жуков Д.С., Лямин С.К.

Фрактальное моделирование социально-политических феноменов и процессов

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках проекта РФФИ №10-06-00250-а «Компьютерное моделирование модернизационных процессов средствами фрактальной геометрии»

Аннотация: Статья посвящена применению теории и методологии фрактальной геометрии в исторических исследованиях. Представлена математическая модель конкретно-исторической проблемы – динамики модернизации социальной среды и демографического поведения. This article is dedicated to application of theory and methodology of fractal geometry in historical research. The article represents the concrete historic issue mathematical model, specifically: the dynamics of social environment and demographic behavior modernization.

Ключевые слова: фрактальное моделирование, фрактальная геометрия, модернизация, традиционное общество, fractal modeling, fractal geometry, modernization, traditional society

Вслед за естественными и точными науками, в социальных дисциплинах (как в России, так и за рубежом) активно развиваются синергетические представления: теория хаоса вторгается в гуманитарную сферу [4]. Фрактальная геометрия позволяет создавать модели, эвристически продуктивные именно для имитации нелинейности, парадоксальности процессов и структур. Несмотря на это, опыт использования фракталов в исторических и политологических исследованиях ограничен лишь теоретической констатацией фрактальности некоторых социальных феноменов. В рамках деятельности Центра фрактального моделирования (ЦФМ, сайт: www.ineternum.ru) предпринята попытка создания полнофункциональных фрактальных моделей для целей общественно-политических исследований. В этой статье мы обозначим подходы к построению моделей и некоторые результаты адаптации средств фрактальной геометрии к специфике гуманитарных изысканий.

Фрактальной геометрии появилась в 1977 году после публикации книги Бенуа Мандельброта "Fractals: Form, Chance, and Dimension" [2]. Переработанная вторая редакция этой монографии стала классическим основополагающим трудом по фрактальной геометрии – "The Fractal Geometry of Nature" [3] (русский перевод – «Фрактальная геометрия природы» [10]). Фрактал это особый тип геометрической фигуры, а «фрактальный» – это характеристика структуры, явления или процесса, обладающих свойствами фрактала. Определение фрактала, данное самим Б. Мандельбротом, выглядит так: «Фракталом называется структура, состоящая из частей, которые в каком-то смысле подобны целому». Главным свойством фракталов является, таким образом, самоподобие: «небольшая часть фрактала

содержит информацию обо всем фрактале». Это явление обуславливает так называемую масштабную инвариантность фрактала. В каком бы приближении мы не рассматривали фрактал, мы всегда видим одно и то же или, во всяком случае, нечто подобное [6, с. 109]. На рисунке 1 в качестве иллюстрации масштабной инвариантности представлены несколько масштабов фрактала «Решето Серпински».

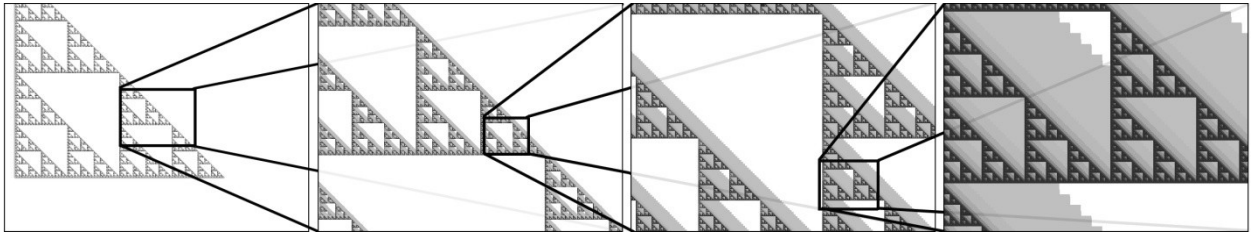


Рисунок 1. Решето Серпински

Самоподобие может быть частичным или закономерно изменяющимся (это результат сложнейшего характера внутренней структуры фрактала). Рисунок 2 демонстрирует несколько масштабов самого известного фрактала – «Построения Мандельброта». В данном случае самоподобие трансформируется в разных масштабах, но на каждом уровне сложности возникает сплав индивидуальных и общих черт всей системы. Теоретически число уровней сложности во фрактале Мандельброта бесконечно.

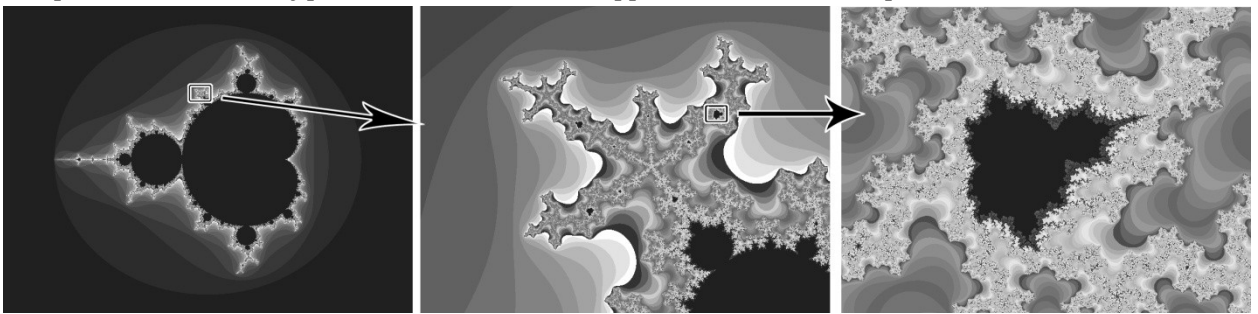


Рисунок 2. Фрактал Мандельброта

Способность виртуальных компьютерных фракталов имитировать реальные объекты живого и неживого мира делает фрактальную геометрию удобным способом моделирования реальности. Более того, Б. Мандельброт полагает, что для природы характерен именно фрактальный способ самоорганизации. Фрактальная методология, таким образом, позволяет создавать конкретные математические модели социальных и политических явлений и процессов. С помощью программ-фракталопостроителей мы получаем возможность проводить компьютерные эксперименты, симулирующие такие явления и процессы, с которыми невозможно экспериментировать в «невиртуальном» мире.

В монографии «Fractals, Graphics and Mathematical Education» Б. Мандельброт помещает размышление об истории (и социально-гуманитарных науках в целом) и фрактальной геометрии: «Позвольте мне в этой точке моих размышлений признаться Вам в зависти, испытываемой мной в юности, когда я наблюдал то влияние на умы людей, которое является привилегией психологии и социологии; позвольте мне признаться в моих юношеских мечтах о некоей отрасли точной науки, которая могла бы так или иначе преуспеть в достижении подобного влияния. Ещё несколько десятилетий назад природа самих точных наук делала все эти мечты

бесполезными. Люди (не все, что и говорить, но достаточное число из них) рассматривают историю, психологию, социологию как науки живые, ясно понимающие, действенные... Астрономия не рассматривалась как живая и действенная наука; Солнце и Луна сверхчеловечны, поскольку из-за своей правильности подобны богам...

В настоящее время острый контраст между астрономией и историей исчез. Мы являемся свидетелями возникновения не просто новой разновидности науки или нового рода наук, но намного более глубоких изменений... Начиная с 1960-х гг. изучение истинной сложности и неупорядоченности вышло на сцену. Здесь можно произнести два ключевых слова – хаос и фракталы, – но я остановлюсь на фракталах. Снова и снова в процессе моей работы обнаруживались случаи, где простота порождает сложность, которая кажется невероятно жизнеподобной...

Астрономия описывала простые правила и их простые результаты и эффекты, в то время как история описывала сложные правила и их сложные результаты и эффекты. Фрактальная геометрия обнаруживает простые правила и их сложные результаты и эффекты...» [1, с. 25 - 26]

Фрактальные модели позволяют обнаружить закономерность и стройную упорядоченность в таких системах, где, казалось бы, царит абсолютный хаос разнонаправленных человеческих устремлений и многообразных эмпирических фактов – фрактальная геометрия объединяет их, не укладывая, вместе с тем, в прокрустово ложе простейших схем. В рамках фрактальной методологии мы выделим несколько способов моделирования, применимых к социальным и политическим процессам и явлениям.

Во-первых, построение алгебраического фрактала можно рассматривать как исследование поведения нелинейной динамической системы в фазовом пространстве. Итерируемая формула, определяющая вид фрактала, описывает, по существу, поведение точки – то есть системы в фазовом пространстве. Формула генерирует череду чисел, значения которых отображают траекторию системы. Совокупность всех возможных начальных условий системы, из которых она попадет в тот или иной аттрактор (т.н. бассейны аттракторов) во многих случаях имеет вид фрактала. Таким образом, сделав математическое описание взаимодействия ряда факторов системы, можно с высокой долей вероятности, предсказывать возможные итоги её развития. [8, с. 52]. Компьютерная программа-фракталопостроитель в этом случае может генерировать изображения аттракторов системы (мы условно называем эти изображения «пространством перспектив») и бассейнов («пространство потенциалов»).

В ходе исследований в Центре фрактального моделирования авторами были разработаны математическая модель, описывающая процессы модернизации городской социальной среды и менталитета горожан в пореформенной России («Менталофрактал»), а также модель демографического поведения аграрного населения Центральной России второй половины XIX – начала XX вв.

(«Демофрактал»). Обе модели используют схожий математический аппарат, поскольку должны имитировать типологически схожие процессы форсированной модернизации. В обоих случаях итерируемая формула аналогична той, которая используется для построения «Фрактала Мандельброта», однако алгоритм генерирования значительно отличается. «Многофункциональность» формулы Построения Мандельброта объясняется её относительной простотой и, очевидно, универсальностью как инструмента описания процессов самоорганизации.

Математический аппарат «Менталофрактала» и «Демофрактала» содержит итерируемую формулу $Z_{n+1} = Z_n^2 A + C$, (где Z и C – комплексные числа), а также ряд математических условий, которые позволяют отождествить геометрический смысл операций над комплексными числами с результатами нуклеарных взаимодействий факторов модели. Таким образом, модель в целом приобретает способность симулировать линейные и нелинейные процессы, возникающие в результате краткого и (или) долгосрочного взаимодействия ряда факторов.

Во-вторых, построение стохастических фракталов, позволяет имитировать реальные процессы, вводя в процедуру построения элементы случайности. Подобные фракталы будут отображать результаты процессов, которые сочетают в себе элементы закономерности и случайности. К числу таких процессов относятся практически все социальные процессы, описываемые статистическими законами. Стохастические фракталы отличаются от детерминированных именно способностью симулировать индивидуальность и неповторимость каждого элемента системы. Однако внесение случайных отклонений в процедуры построения фракталов не отменяет определённых закономерностей для групп элементов «в среднем».

Мы применили подобный метод моделирования для изучения формирования модернизированных социальных слоёв под воздействием результатов модернизационного давления государства на городские общества во второй половине XIX века. Компьютерная программа «Имитация» формировала фрактальный кластер, конфигурация которого имитировала результаты взаимодействия следующих факторов: сила модернизационного нажима, инерция (сила сопротивления) традиционного общества, величина объекта модернизационного нажима, количество модернизационных мероприятий. Графические результаты работы программы могут быть качественно интерпретированы как результаты реального исторического процесса модернизации.

Стохастическая природа этой модели приводит к тому, что при разных запусках программы с одними и теми же параметрами вид получившегося фрактала может быть различным. Но качественные характеристики (величина, «степень разветвлённости» и др.) одинаковы, поскольку выражают статистические закономерности взаимодействия вводимых одинаковых параметров.

В чём же эвристическая ценность имитационной модели? Такая модель позволяет выявить потенциал развития ситуации. Вводя разные значения параметров, мы получаем разные результаты – разные фрактальные кластеры. Каждый конкретный кластер, взятый изолированно, практически не содержит нового знания, однако в этом

кластере демонстрируется взаимосвязь исследуемых факторов, и поэтому череда кластеров позволяет сравнить результаты изменения как одного, так и нескольких факторов. Вид получившегося фрактала изменяется в зависимости от комбинации численных выражений факторов и свидетельствует, в частности, об эффективности модернизационного нажима и о степени целостности и связанности модернизирующегося общества. Причём, степень эффективности модернизационного нажима может быть определена путём сопоставления ряда полученных изображений.

Программное обеспечение для реализации моделей «Менталофрактал», «Демофрактал», «Имитация» и некоторых других создано сотрудником ЦФМ Юлией Игоревной Мовчко. Некоторые результаты исследований, связанных с построением алгебраических и стохастических фракталов представлены на рисунке 3. В рамках этой статьи, мы стремимся лишь обозначить подходы к моделированию и не имеем возможности обсудить интерпретации приведённых изображений.

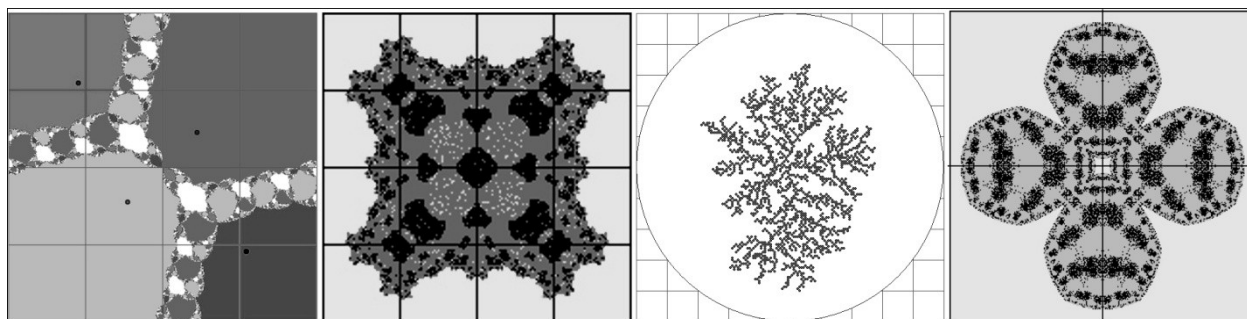


Рисунок 3. Некоторые результаты работы фракталопостроителей «Менталофрактал», «Демофрактал», «Имитация»

В-третьих, геометрические фракталы являются удобной эвристической метафорой для описания самоподобных социальных и политических структур, а также логики их развития. Геометрическими фракталами называют фигуры, возникающие в результате повторения одного и того же графического элемента (т.н. генератора фрактала) бесконечное количество раз во всё уменьшающемся масштабе. Примером такой фигуры может служить фрактал «Решето Серпински» (рисунок 1) или «Снежинка Коха» (рисунок 4). Поскольку генератор фрактала повторяется бесконечное число раз, то, теоретически, «Решето Серпински», состоящее из треугольных «вырезов» из базового треугольника имеет нулевую площадь; а «Снежинка Коха», которая формируется «пристраиванием» треугольных «наростов» к каждой грани, имеет бесконечную длину периметра в ограниченном пространстве.

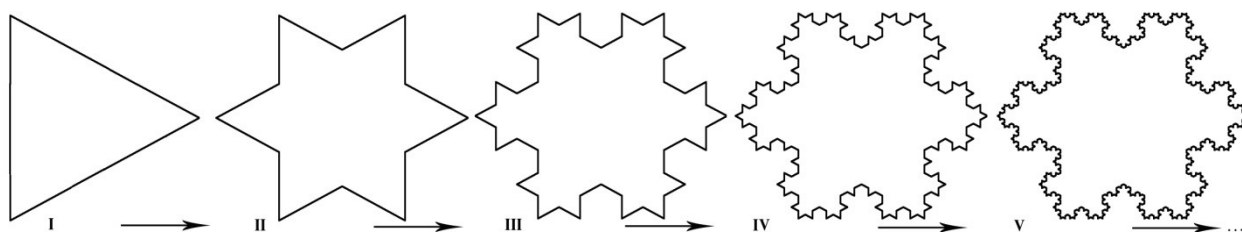


Рисунок 4. Начальные этапы построения Снежинки Коха

Метафора фрактала, которому свойственна масштабная инвариантность, позволяет свести всё многообразие фактов, независимо от их масштаба, к определённой закономерности, которую можно представить как генератор фрактала. При этом качественное единообразие базовой закономерности не противоречит количественному разнообразию исследуемых фактов.

Использование метафор фракталов в исследовательском дискурсе во многих случаях является не просто изменением иллюстративного ряда, но сменой представлений о существе тех или иных явлений. Новая метафора позволяет иначе обобщить имеющиеся данные, иначе представляет функциональные связи между фактами, иначе описывает динамику процессов.

Вот как иллюстрирует Дж. Глейк широту распространения фрактальных метафор: «...В системе кровообращения поверхность с огромной площадью должна вписаться в ограниченный объем... Человеческое тело полно подобных хитросплетений. В тканях пищеварительного тракта одна волнистая поверхность “встроена” в другую. Легкие также являют пример того, как большая площадь “втиснута” в довольно маленькое пространство... Фрактальный подход... предполагает рассмотрение структуры как целого через разветвления разного масштаба... Фрактальная организация лежит в основе устройства всего человеческого тела. Выяснилось, что и мочевыделительная система фрактальна по своей природе, равно как желчные протоки в печени, а также сеть специальных мышечных волокон, которые проводят электрические импульсы к сократимым мышечным клеткам сердца... С точки зрения Мандельброта,... фракталы, разветвляющиеся структуры, до прозрачности просты и могут быть описаны с помощью небольшого объема информации. Возможно, несложные преобразования, которые формируют фигуры (наподобие дендритов. – Авт.), заложены в генетическом коде человека. ДНК, конечно же, не может во всех подробностях определять строение бронхов, бронхиол, альвеол или пространственную структуру дыхательного “древа”, однако она в состоянии запрограммировать повторяющийся процесс расширения и разветвления – а ведь именно таким путем природа достигает своих целей... Мандельброт естественным образом переключился с изучения “древа” дыхательного и сосудистого на исследование самых настоящих деревьев, которые ловят солнце и противостоят ветрам, деревьев с фрактальными ветвями и листьями. А биологи-теоретики начали подумывать о том, что фрактальное масштабирование не просто широко распространенный, но универсальный принцип морфогенеза. Они утверждали, что проникновение в механизмы кодирования и воспроизводства фрактальных моделей станет настоящим вызовом традиционной биологии» [5, с. 142 – 146].

Наконец, в-четвёртых, средства фрактальной геометрии позволяют анализировать событийные ряды. Многие процессы имеют фрактальный характер. Самый простой пример фрактального процесса – волна, покрытая рябью (более мелкими волнами), которые в свою очередь покрыты рябью и т.д. Волнообразный вид графиков

ключевых процессов в социально-политической сфере, естественным образом, наводит на мысль о цикличности этих процессов. Можно предположить, что (в пространстве) фрактальным структурам соответствуют (во времени) фрактальные процессы их жизнедеятельности – многомерные, сложные многоволновые циклы, спирали в фазовом пространстве и т.п. Фрактальность процессов становления и эволюции тех или иных систем можно трактовать как следствие (или, возможно, - причину) фрактального устройства самих систем.

Обратим внимание, что процесс, моделируемый в фазовом пространстве как совокупность результатов итераций формулы, которая генерирует фрактал, будет, как правило, иметь вид закручивающейся спирали, сходящейся к аттрактору (если моделируемый процесс имеет аттрактор в каких-то видимых пределах, а не в бесконечности) (см. рисунок 5). Любопытен в данном случае не только тот факт, что сама спираль является фракталом. Заучивающимся спиральям в фазовом пространстве соответствуют в реальной жизни затухающие колебательные процессы. Как известно, многие социально-политические процессы имеют именно такой характер в том случае, если социальная (или политическая) система стабилизируется. «Раскручивающейся» спирали с аттрактором в бесконечности (в фазовом пространстве) соответствуют (в реальном мире) колебательные процессы с увеличивающейся амплитудой, которые приводят к паталогической дестабилизации и разрушению системы.

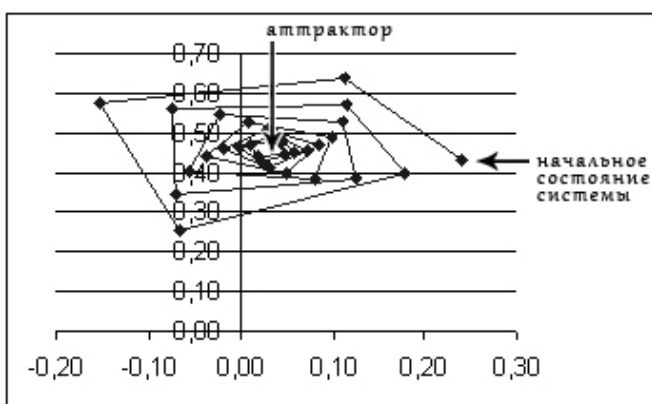


Рисунок 5. Один из результатов итераций формулы Мандельброта

Приведённые выше модели представляют собой «не столько точное отображение всей исторической действительности, сколько функциональное (и функционирующее в качестве компьютерной модели) обобщение нескольких факторов – обобщение, которое в таком виде может использоваться в обобщениях более высокого порядка» [8, с. 52]. Если модель хорошо калибрована, то возникает возможность проводить компьютерные эксперименты с виртуальными копиями реальных объектов и процессов. Поскольку, как правило, мы не имеем возможности произвольно экспериментировать с социальными и политическими явлениями, то их модели можно использовать как своего рода «эвристическую машину» для производства гипотез, выявления потенциалов и для прогнозирования. Кроме того,

помимо собственно математического моделирования, фрактальная геометрия предоставляет прекрасный понятийный аппарат для развития некоторых концептуальных представлений о социальных и политических феноменах.

Литература

1. Frame, M.L. & Mandelbrot, B.B. Fractals, Graphics and Mathematical Education. Washington DC: Mathematical Association of America & Cambridge UK: The University Press, 2002.
2. Mandelbrot, B.B. Fractals: Form, Chance, and Dimension. San Francisco CA and Reading UK: W. H. Freeman & Co. 1977.
3. Mandelbrot, B.B. The Fractal Geometry of Nature. New York US and Oxford UK: W.H. Freeman and Company. 1982.
4. Бородкин Л.И. Методология анализа неустойчивых состояний в политико-исторических процессах // Международные процессы. – 2005. – №1.
5. Глейк Дж. Хаос: создание новой науки. СПб., 2001.
6. Жиков В.В. Фракталы // Соросовский образовательный журнал. Математика. – 1996. – № 12. – С. 109-117.
7. Жуков Д.С., Лямин С.К. Метафоры фракталов в общественно-политическом знании. Тамбов, 2007.
8. Жуков Д.С., Лямин С.К. Моделирование исторических явлений и процессов средствами фрактальной геометрии // Информационный бюллетень Ассоциации "История и компьютер". – 2006. – № 34.
9. Жуков Д.С., Лямин С.К. Журнал общественной прогностики «Ineternum»: перспективы // Ineternum. – 2009. – № 1. – С. 29 – 45.
10. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия Природы. М., 2002.
11. Морозов А.Д. Введение в теорию фракталов. Нижний Новгород, 1999.