

УДК 9:004.9

ЦЕНТР ФРАКТАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ: РАЗВИТИЕ ИНСТРУМЕНТАРИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СОЦИАЛЬНЫХ ФЕНОМЕНОВ¹

Д. С. Жуков, В. В. Канищев, С. К. Лямин, Ю. И. Мовчко

Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина, 392000, г.Тамбов, ул. Интернациональная, 33

ineternatum@mail.ru

laomin@mail.ru

valcan@mail.ru

Рассматривается развитие исследовательского инструментария для моделирования исторических явлений и процессов. Описываются программное обеспечение, теоретические подходы и технические приёмы, а также некоторые эвристические трудности и новации, возникающие при адаптации новых средств моделирования в социальных дисциплинах. Основное внимание уделяется исследованиям, проводимым в Центре фрактального моделирования.

Ключевые слова: фрактальная геометрия, самоорганизованная критичность, моделирование социальных явлений, Центр фрактального моделирования.

Предварительные ремарки

Центр фрактального моделирования (ЦФМ, сайт www.ineternum.ru), созданный в 2009 г. в Тамбовском государственном университете имени Г.Р. Державина, занимается разработкой методологии и программного обеспечения для имитационного моделирования социополитических явлений и процессов. Самые ранние «фрактальные проекты» были запущены значительно раньше. Мы получили возможность решать исследовательские задачи с 2005 г. – после того, как были созданы наши первые программы-фракталопостроители для компьютерной реализации специфических моделей (рис. 1).

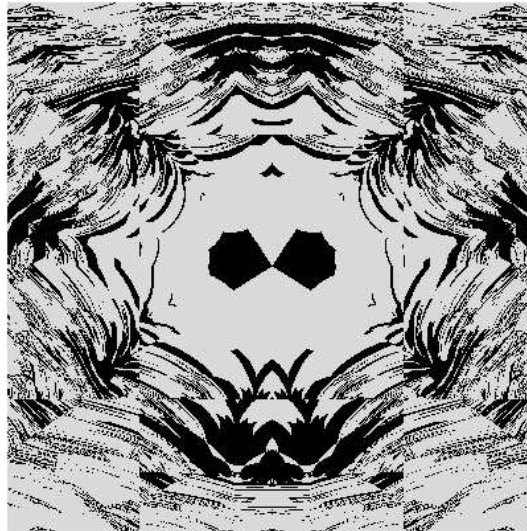


Рис. 1. Первое фрактальное изображение (июнь 2005 г.) – результат реализации одной из математических моделей Д.Жукова и С. Лямина с помощью специальной программы, написанной Ю. Мовчко. Это первое «вещественное» воплощение наших «фрактальных изысканий»

Созданный в ЦФМ инструментарий используется в ряде проектов (исторических и политологических). Статья представляет собой краткий очерк развития двух родственных направлений в моделировании, которые культивируются в ЦФМ. Это приложения фрактальной геометрии и теории самоорганизованной критичности (СОК) к изучению социальных феноменов.

Мы стремимся к интеграции математических методов и синергетических представлений в

социально-гуманитарных исследованиях, где имитационные модели обычно используются как своего рода «эвристические машины» для формулирования гипотез, для выявления потенциалов и альтернатив развития. В сфере наших исследовательских интересов, как правило, реальный эксперимент невозможен. Но мы можем проводить виртуальные эксперименты, создавать симуляции.

Иногда в западной литературе можно встретить отголоски полемики между сторонниками аналитических и имитационных моделей. По мнению первых, имитационные модели не слишком точны и допускают широкую интерпретацию конечных результатов, что ограничивает их прогностические возможности. По мнению вторых, аналитические модели не позволяют хорошо улавливать нелинейные эффекты, что как раз и является насущной исследовательской потребностью в связи с осознанием большой роли таковых эффектов в социальных процессах.

Аргументы обеих сторон можно считать в значительной части справедливыми, но сама по себе эта полемика, как представляется, надуманна и беспредметна. В исследовательской и аналитической практике перед исследователями обычно не стоит жёсткий выбор, какой из двух инструментов использовать, а какой – отбросить. Аналитические модели, основанные на надёжном, вызывающем всеобщее доверие математическом аппарате, позволяют строить довольно точные прогнозы. Имитационные модели можно использовать в других целях – для генерирования гипотез, новых объяснительных схем (порой парадоксальных), для конструирования веера перспектив (совокупности виртуальных сценариев).

Фактически это производство продукта, который затем можно верифицировать, фильтровать, использовать или не использовать в зависимости от соответствия или несоответствия этого продукта имеющимся эмпирическим данным. Имитационное моделирование, таким образом, имеет свое место в ряду исследовательских процедур – свою нишу. В такой нише этот инструмент хорош, вне её – плох (как и любой другой метод, всегда имеющий некоторые эвристические возможности и ограничения).

В компьютерных экспериментах с имитационными моделями возникают события и эффекты, описанные в теории хаоса. Модели, основанные на достижениях теории хаоса (в частности, синергетики, фрактальной геометрии, теории самоорганизованной критичности), позволяют анализировать нелинейные эффекты, возникающие в динамических системах. Нарушение соразмерности причин и следствий, «спонтанная» активность или, напротив, чрезмерная инертность изучаемой системы, способность к самоструктурированию или взрывообразному разрушению во время фазового перехода – с подобными эффектами исследователи довольно часто сталкиваются при изучении современной социальной реальности и исторического прошлого.

Использование в истории средств моделирования, которые позволяют генерировать некоторые нелинейные эффекты, – это отклик на методологическую инициативу Л.И. Бородкина и Ассоциации «История и компьютер» [Бородкин, 2003, 2005, 2008, 2012; Гарскова, 2010].

В России исследования по моделированию исторических процессов и явлений сосредоточены не только в Ассоциации «История и компьютер», но и в немногочисленных весьма активных центрах. Значительные достижения имеют исследовательская группа «Клиодинамика» и научное сообщество, возникшее вокруг её идей [Turchin and Nefedov, 2009; Гринин и др., 2008; Алексеев и др., 2007]. Внедрению точных методов в социогуманитарную сферу, развитию нелинейных представлений весьма успешно содействовала редакция серии «Синергетика: от прошлого к будущему» во главе с Г.Г. Малинецким. Можно сказать, что в отечественной исторической науке [Гагарина, 2009; Мазур, 2011; Малков, 2009; Негин и Миронос, 2012; Зудов, 2011] и иных социальных дисциплинах [Ахременко, 2009; Сморгун, 2012; Тихомиров, 2012; Колобов и Петухов, 2010] сформировалось определённое направление, которое мы с немалым удовольствием поддерживаем.

Фрактальная геометрия для нас – не только источник алгоритмов для построения моделей. Это ещё и некоторая парадигма, некоторое видение социальной и исторической реальности. Метафора фрактала, которому свойственна масштабная инвариантность (самоподобие на микро-, мезо- и макроуровнях), позволяет свести всё многообразие фактов независимо от их масштаба к определённой закономерности. При этом единообразие базовой закономерности не противоречит разнообразию исследуемых фактов. Фрактальные модели позволяют обнаружить закономерность и 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.

Разработка фракталопостроителей. Ранние проекты: Менталофрактал, Империя, Имитация

ЦФМ имеет опыт создания программ, ориентированных на исследовательские нужды в социогуманитарных областях знания (см. рис. 2). Для наших ранних проектов было разработано программное обеспечение, которое затем существенно модифицировалось, развивалось и в конечном счёте позволило нам реализовать несколько обширных программ по проведению виртуальных экспериментов.

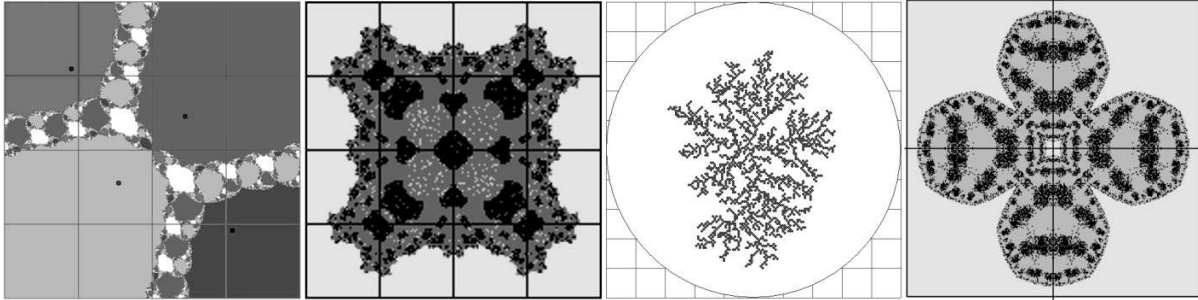


Рис. 2. Некоторые результаты работы фракталопостроителей: Империя, Менталофрактал, Имитация, Демофрактал

Менталофрактал – первая версия генератора алгебраических фракталов, созданная в ЦФМ. Для проведения виртуальных социальных экспериментов в Менталофрактале мы можем изменять значения тех или иных управляющих факторов и отслеживать, как изменятся потенциалы и аттракторы социума в данном экспериментальном случае. Это существенно расширяет наши эвристические возможности, поскольку в реальном мире такие эксперименты, естественно, невозможны.

Программа была использована для изучения модернизации менталитета городского сообщества в пореформенной России – предмет сложный для моделирования, поскольку этот феномен трудно формализовать, исчислить [Zhukov, Lyamin, 2010; Жуков, Лямин, 2010].

Программа Империя создавалась для решения другой частной задачи – исследования эволюции крупных гетерогенных государственных образований, а именно для создания сценариев распределения полномочий между властными органами центра и периферии [Жуков, Лямин, 2007]. Программа позволяет решить уравнения n -й степени методом Ньютона, фиксируя аттракторы (искомые решения) и бассейны начальных состояний (отправных значений). Исследователи заинтересованы в изучении не только аттракторов, но и конфигурации бассейнов, поскольку они демонстрируют потенциалы и возможности развития исходной ситуации. Подобный подход оказался довольно продуктивным: мы смогли убедиться на фактологическом материале в том, что итог имперского развития обнаруживает сильную зависимость от начальных условий.

Мы продолжили развивать принципы фрактального моделирования, заложенные в этой программе, а именно отождествление процедуры построения алгебраического фрактала с построением траектории изображающей точки в фазовом пространстве, разметку фазового пространства и интерпретацию входных и выходных данных в тесной связи с этой разметкой, рассмотрение аттракторов и бассейнов как вариантов развития системы при различных входных условиях и начальных состояниях и некоторые другие. Однако математический аппарат тех моделей, которые мы применяем сейчас, представляет собой развитие линии Менталофрактала, хотя мы не оставляем надежду на использование матаппарата Империи. Математический аппарат не может быть плох или хорош сам по себе. Просто математический аппарат Менталофрактала оказался более интерпретабельным – более сопрягаемым с социальной реальностью [Жуков, Лямин, 2007].

На базе Менталофрактала были разработаны программа Демофрактал и полнофункциональная версия этого фракталопостроителя – Модернофрактал V 5.1. Практически все последние эксперименты уже проводились с помощью этой программы. В целом именно эта версия фрактального моделирования оказалась наиболее успешной, поскольку в дальнейшем этот ряд моделей удалось обобщить до уровня «общей фрактальной модели перехода» (ОФМП) [Жуков и др., 2013].

Программа Модернофрактал V 5.1 предназначена для проведения компьютерных экспериментов с математической моделью, описывающей переход социально-политических систем из од-

ного состояния в другое, – ОФМП. Программа обеспечивает построение алгебраического фрактала. Математический аппарат ОФМП содержит итерируемую формулу, а также ряд математических условий, которые позволяют отождествить геометрический смысл операций над комплексными числами с результатами взаимодействия факторов модели. Итерируемая формула генерирует череду чисел, которая задаёт траекторию изображающей точки в двухмерном фазовом пространстве. Программа генерирует изображения бассейнов системы и её аттракторов в фазовом пространстве. Бассейны – совокупности начальных состояний, стартуя из которых точка попадёт в один и тот же аттрактор. Аттракторы фиксируются как точки, в которые попадёт система после множества итераций (подстановок значений в итерируемую формулу), если, конечно, эти точки стабильны и воспроизводятся вновь и вновь с высокой степенью приближения в серии последних итераций. Пользователь имеет возможность задавать величины управляющих факторов и определять условия виртуальных экспериментов (см. рис. 3). Программа Имитация позволяла ставить эксперименты, принципиально отличные по подходу и процедуре от описанных ранее. На базе Имитации разработана программа Фракталокластер, которая и была использована в одном из наших более поздних проектов.

Программа Фракталокластер представляет собой виртуальную среду, в которой под воздействием ряда факторов растёт фрактальный кластер. Кластер является результатом «бомбардировки» точками некоторого основания. Причём значимые факторы среды варьируются случайным образом, но в установленном пользователем диапазоне. Значимые параметры процесса кластерообразования могут быть определены пользователями в соответствии с основными факторами, воздействующими на моделируемый объект. 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. Подобного рода строители стохастических фрактальных кластеров широко используются для изучения разного рода феноменов: развития сетей, динамики фронтов вытеснения и прочих.

Общая фрактальная модель перехода

ОФМП разработана в ЦФМ как адаптация средств фрактальной геометрии для решения социогуманитарных исследовательских задач. ОФМП описывает некоторые аспекты перехода социальных систем из одного состояния в другое. Математический аппарат этой модели основывается на процедурах, предложенных основателем фрактальной геометрии Б. Мандельбротом [Mandelbrot, 1982]. Эти классические алгоритмы были модифицированы для решения задач симулирования конкретных изучаемых объектов.

ОФМП возникла как обобщение большого числа виртуальных экспериментов. Мы обратили внимание на то, что совершенно разные системы (точнее, трансформацию этих систем) можно имитировать посредством схожего математического аппарата и процедур. Вообще это базовый принцип, свойство фрактальной парадигмы: простые правила порождают чрезвычайно многообразные структуры. Мы обозначили основные факторы, действующие в социальных системах сходным образом, высокоабстрактными терминами и предложили модель, претендующую не столько на универсальность, сколько на некоторую кросс-предметность. Эту модель (и её программное обеспечение) можно применять при решении конкретных исследовательских задач. Для этого нужно конкретизировать управляющие факторы и разметку фазового пространства (т.е. наделить их конкретными качественными смыслами, присущими изучаемой системе в соответствии с базовыми гипотезами о её сущности). Безусловно, процедуры модели, её условия, входные данные и результаты должны быть интерпретабельными (это общее требование к любой модели).

Упомянутая кросс-предметность этой модели стала возможной благодаря имманентному свойству фракталопостроителя генерировать колоссальное количество сценариев на основании простых взаимодействий небольшого набора управляющих факторов. Следует отметить, что кросс-предметность – это свойство многих (не только фрактальных) математических моделей, которые «таинственным и впечатляющим» образом одинаково описывают абсолютно различные процессы, например, пожар в лесу и распространение инноваций в экономике.

В ОФМП различные состояния системы в каждый момент времени передаются посредством изображающей точки в двухмерном фазовом пространстве (координаты этой точки соответствуют

величинам двух ключевых характеристик системы, откладываемым на осях фазового пространства). Аттракторы дают представление о наиболее вероятных и комфортных исходах развития системы под воздействием управляющих факторов модели. Бассейны описывают потенциал развития системы, ситуации. Переход социальной системы из одного состояния в другое осуществляется в ОФМП под воздействием трёх поликомпонентных управляющих факторов: саморазвития системы, устойчивости/неустойчивости системы к внешнему воздействию, воздействия внешней среды.

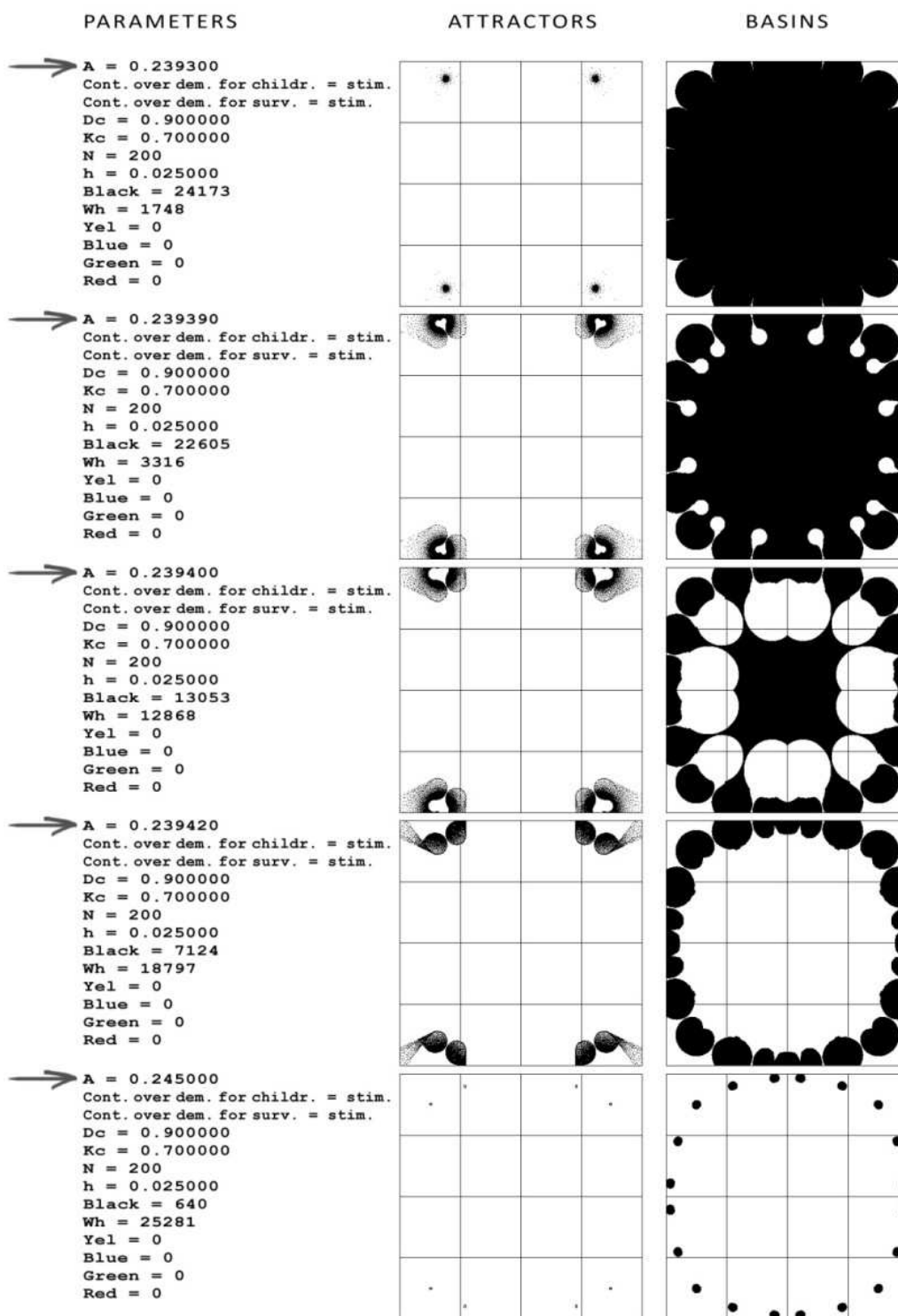


Рис. 3. Пример работы Модернофрактала V 5.1 – результирующие изображения в серии экспериментов по историко-демографическому проекту [Zhukov et al., *Fractal Modeling...*, 2013]

Различные области фазового пространства могут иметь некоторый качественный смысл, т.е. фазовое пространство можно разметить. Разметка «по умолчанию» основана на том, что сочетание двух градаций (сильной и слабой) двух характеристик даёт четыре типа состояния системы. Положение каждой точки (т.е. состояние системы) можно качественно интерпретировать в зависимости от «разметки» фазового пространства. Конечно, в рабочем пространстве можно провести многочисленные дополнительные построения, которые могут быть весьма полезны для описания смыслов, заключённых в траектории точки (эволюции системы). Например, мы довольно часто используем так называемую линию гомеостаза – линию, на которой величины обеих исследуемых характеристик сбалансированы.

Многолетний «мегапроект» – Демофрактал

В процессе своего существования ЦФМ выполняет создает проект, который мы условно обозначили как Демофрактал (так же, как и программа, которая использовалась на ранних этапах работы над проектом). Многие результаты этой деятельности опубликованы [Zhukov *et al.*, *Fractal Modeling...*, 2013; Жуков и др., *Исторические приложения...*, 2013] и многократно предлагалось вниманию членов Ассоциации «История и компьютер» на её регулярных конференциях. На самом деле это не самостоятельный проект – это «модельный» компонент многочисленных историко-демографических проектов, создаваемых или завершённых в Тамбовском государственном университете имени Г.Р. Державина. Но этот компонент имеет своё чётко выстроенную логику развития. Мы сосредоточились на изучении трансформаций демографических стратегий поведения аграрного населения Центральной России со второй половины XIX в. Сейчас «модельная» часть доведена до 1930-х гг., но мы надеемся продолжить это исследование до настоящего момента и даже на некоторое время в будущее. Ведь моделирование обладает значительными прогностическими и эвристическими возможностями.

Социальная значимость проекта обусловлена тем, что демографический фактор является наиболее существенным депрессором в любых прогнозах развития России. Поэтому представляется целесообразным проведение взвешенных, основанных на фактах (фактах многообразных и взятых за длительный период) исследований демографических тенденций.

В Демофрактале использовались стандартные методы калибровки. Верификация модели осуществлялась посредством сопоставления результатов компьютерных экспериментов с известными из источников и литературы величинами управляющих факторов и конечных результатов исследуемых процессов. Для определения величины управляющих факторов модели мы использовали несколько индикаторов, а для расчета величины каждого индикатора – наши обширные базы исторических данных (причём не только демографического характера).

Эти базы данных создавались коллегами многие годы. Мы полагаем, что моделирование – один из эффективных способов заставить эти данные «заработать». Во-первых, само построение модели и исследование её результатов позволяют представить многочисленные ряды данным в более лаконичном, обобщённом виде, удобном для интерпретации и выявления закономерностей. Во-вторых, исходные числовые данные используются для генерации некоторого сценария поведения системы (или её эволюции), т.е. они позволяют симулировать собственно историческую жизнь. Наконец, эмпирические данные выполняют свою великую функцию – во всей своей совокупности являются арбитром в выборе того, какая закономерность верна, а какая – нет. Ведь виртуальные сценарии, не прошедшие верификации сравнением с реальными фактами, отбрасываются, а в модель вносятся уточнения.

Проект Демофрактал, как нам представляется, содержит ещё одну весьма любопытную и перспективную идею, а именно сам предмет исследования. Для понимания демографических процессов помимо демографических и социально-экономических реалий важно учитывать и интересующие факторы: демографические мотивы, демографические цели людей, демографический опыт, доминирующие практики, восприятие людьми внешних условий, в которых выстраивается тактика выживания и воспроизводства, и пр. Все эти факторы объединены в понятии «стратегия демографического поведения». Связь средовых условий и стратегий разных типов может быть нелинейной, контр-интуитивной. Таким образом, этот проект предполагает не столько выявление всех объективных количественных характеристик демографической ситуации (это во многом уже сделано), сколько изучение демографических стратегий: их генезиса, состояния и перспектив раз-

вития. Причём речь идёт о стратегиях как реализованных, так и нереализованных, но возможных.

Кроме того, компьютерная симуляция социальных феноменов на основе нелинейных моделей позволяет проследить разные варианты развития. Мы уверены, что человеческое поведение, интерсубъективные феномены – это объекты, склонные именно к нелинейному поведению.

Перспективы использования Модернофрактала V 5.1 в проектах «ФронтирФрактал» и «Экофрактал»

Новые модели, созданные на базе ОФМП и реализуемые посредством программы Модернофрактал 5.1, – Экофрактал [Жуков и др., 2012] и ФронтирФрактал [Zhukov et al., 2013].

Освоение новых территорий – характерное явление для многих стран, в том числе для России. Изучение процесса включения южнофронтирных территорий в состав России с середины XVII по конец XIX в. является частью большого проекта по исследованию российского фронта. Мы построили траектории эволюции в этот период для случайной выборки из нескольких десятков уездов девяти губерний.

Для определения величин управляющих факторов использованы не только объективные статистические данные, но и экспертные оценки. Этот приём, легализованный в истории усилиями И.Д. Ковальченко, остаётся, как нам кажется, незаслуженно недооценённым. Ведь правильно собранные и калиброванные экспертные оценки являются хорошим способом обобщения и формализации колоссального количества первичных источников, не содержащих порой вообще никаких числовых данных.

Мы вводим в научный оборот эти экспертные оценки. Это даёт возможность их развивать – обсуждать, критиковать, принимать, уточнить и пр. И, конечно, это существенно повышает нашу обеспеченность числовыми входными данными. (Именно дефицит формализованных начальных данных тормозит развитие моделирования применительно к истории по сравнению с развитием иных социальных наук.)

Обратим внимание на то, насколько удобен для дальнейшего анализа формат представления результирующих данных в ОФМП. Результат изучения одного уезда представлен на рис. 4, где траектория изображающей точки отражает классический тезис «торговля следует за флагом». Территория быстрее вовлекается в сферу геополитического влияния, чем хозяйственно осваивается.

Кирсановский уезд Тамбовской губернии
 каждая точка - смоделированный аттрактор развития уезда
 к определённому моменту
 чёрная линия - смоделированная траектория развития территории



Рис. 4. Смоделированная в ОФМП траектория эволюции одного из уездов Центральной России относительно фронта (проект «ФронтирФрактал»)

Если проследить подобные траектории в нескольких уездах, то мы получим весьма деталь-

ную динамику фронтальных территорий. Это хороший способ визуализации наших представлений, а также изучения потенциалов и перспектив развития территорий. Наше фазовое пространство размечено, и перемещение в нём точек имеет определённые качественные смыслы. Используя описанные процедуры, мы можем изучать и демонстрировать динамику большого числа территорий, обнаруживать возможные альтернативы, «исключительные случаи», типичные эволюции и пр. Мы можем увидеть снимок «втягивания» уездов и губерний в политическое пространство метрополии, что сопровождается, правда с меньшей интенсивностью, их хозяйственным освоением.

Компьютерное моделирование в данном случае позволяет типизировать фронтальные территории, сравнить модельную динамику с реальной, заполнить эмпирические пробелы компьютерными реконструкциями.

В рабочей плоскости программы-фракталопостроителя часто появляются изображения, значительно сложнее приведённой на рис. 4 кривой (на рис. 5 представлены результаты экспериментов в рамках проекта Экофрактал). Как только мы начали генерировать «свои» фракталы, перед коллективом ЦФМ встал вопрос: как связать объекты и события, возникающие в виртуальных экспериментах, с реальными социальными явлениями? Методика качественной интерпретации результирующих изображений основана на анализе движения результирующей точки в «размеченном» фазовом пространстве, с разными областями и дополнительными построениями которого соотнесены различные физические (т.е. социальные) смыслы. Адаптация этих приёмов в социальных науках превратилась в разработку специальной методики интерпретации.

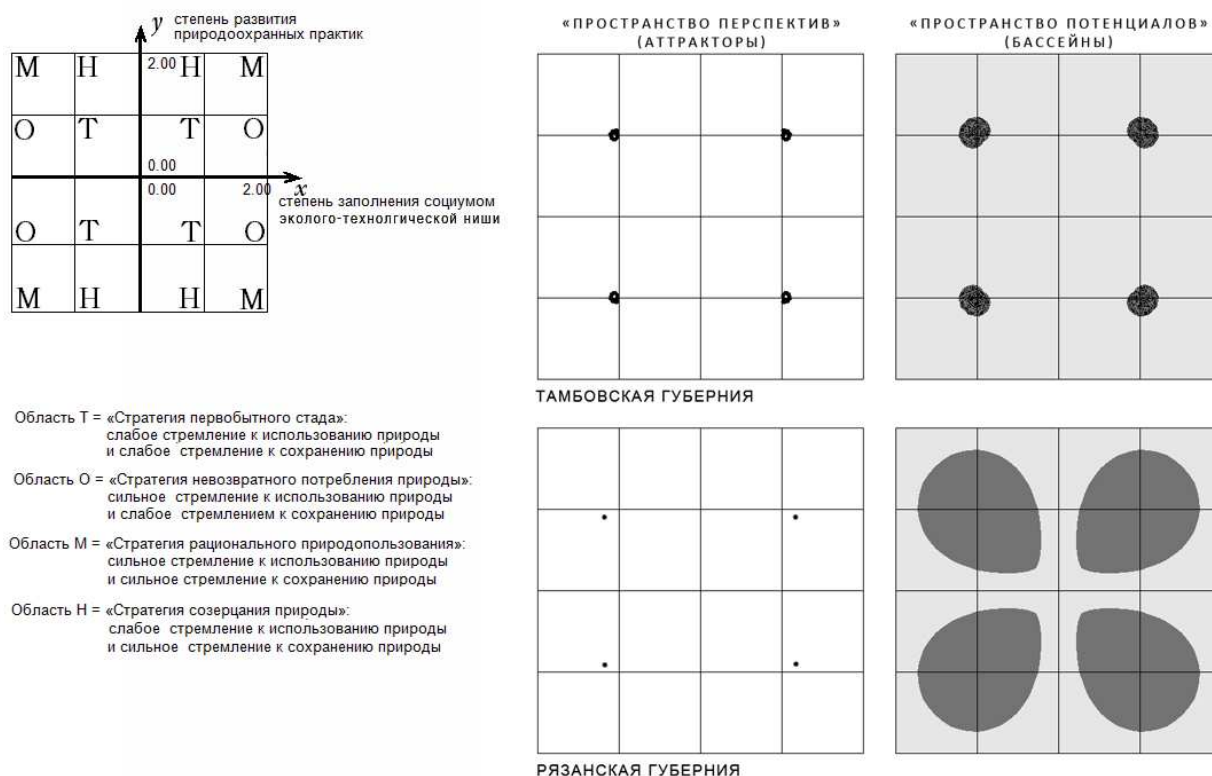


Рис. 5. Смоделированные в ОФМП состояния двух губерний к 1840-м гг., исходя из тенденций и условий 1790-х гг. (проект Экофрактал)

Некоторые обобщения: «турбулентная» модернизация

Наши модели (в частности, ОФМП, Фракталокластер) использовались также в политологических и историко-политологических проектах [Жуков, Прогностические возможности..., 2012; Zhukov, Lyatin, 2013]. За последние годы в рамках этого направления мы создали два проекта, посвященных генезису традиционных неформальных институтов, а также причинам их выживания, сценариям и технологиям их деструкции. Это позволило нам составить некоторые общие представления о российском варианте форсированной модернизации. В данном случае имитационные модели использовались не для выявления конкретных закономерностей, а для генерирования/подтверждения ряда абстрактных гипотез. Это один из вариантов использования моделей.

Какие нелинейные эффекты можно обнаружить в социополитической системе при рассмотрении её посредством подобных инструментов? Институциональная модернизация (особенно протекающая в форсированном режиме) в подобных моделях весьма часто предстаёт как «турбулентная». Исходя из идей о «турбулентной» нелинейной модернизации, мы попытались отказаться от «логики больших причин и больших следствий», изменить отношение к малым (и случайным) воздействиям. Наша задача заключалась в том, чтобы рассмотреть модернизацию «под микроскопом»: увидеть её нюансы, флуктуации – всё то, что остаётся за рамками метафоры лавового потока. Между тем эти микроскопические явления не только обеспечивают специфичность модернизации, но и порой прямо определяют её макроуспех или неуспех.

Форсированная институциональная модернизация не является равномерной – она охватывает в разной мере разные институты, слои и пространства, что, очевидно, может приводить к их противоречиям и даже столкновениям. Для турбулентной модернизации характерны фазовые переходы: скачки, «прорывы», когда перестаёт действовать логика «больших причин и больших следствий». В ходе модернизации архаичные нормы, социальные структуры и административно-политические институты могут не отмирать, а адаптироваться к новым, трансформируясь и трансформируя модернизационные новации. Так возникает (пользуясь терминологией А. Рибера [Rieber, 1991]) «осадочное общество», где законсервированы, но не изолированы старые «правила игры». Осадочные структуры (или традиционное институциональное наследие), утратив своё прежнее функциональное значение, приобретают патологические формы.

Для турбулентной модернизации характерны «противотечения»: в некоторых областях и институтах, которые недостаточно включены в модернизационные процессы, образуются своего рода цисты, эволюция которых идёт в обратном направлении – в сторону архаизации. При некоторых благоприятных (недискриминационных) условиях такие секторы экстенсивно растут. Более того, архаичные институты стремятся адаптироваться к новой модернизированной среде способом, присущим людям: они активно изменяют саму среду. Образование псевдоморфозов позволяет архаичным институтам устойчиво встраиваться в модернизационные формальные структуры и замещать модернизированные «правила игры» при сохранении «цивилизованных» внешних форм.

Модернизационное давление может сопровождаться увеличением степени «волатильности» и вариабельности модернизационных мероприятий (как и реакций на них), одни из которых могут быть более сильными и сверхсильными, другие – менее сильными и незначительными. Хорошо известен «эффект лягушки» – чередование сверхпассивности институциональной системы (с низкими реакциями на модернизационное давление) [Головашина, 2011] со скачкообразными сверхреакциями на порой незначительные внешние импульсы.

На фоне форсированной модернизации значительно более «хрупким» становится институт: увеличиваются деструктивные эффекты, появляющиеся в результате разбалансировок из-за незначительных флуктуаций управляющих факторов.

О форсированном характере социальной модернизации в России мы получили весьма неожиданное представление в нашем проекте, касающемся сетевых структур в городах пореформенной России. Этот проект выполнялся с использованием модели Фракталокластер, т.е. значительно отличался по технике моделирования от прежних работ. В ходе исследований потребовалось ввести в модель параметр М-акселератор (сила модернизационного давления государства на социум). В российской истории (в ходе Великих реформ) этот акселератор был чрезвычайно велик. Мы попытались его формализовать и численно выразить: компьютерные эксперименты показали, что государство стремилось увеличить модернизационные эффекты в 9–11 раз по сравнению с естественными результатами спонтанного развития отдельных модернизированных социальных структур. И только в этом случае (в случае включения в модель М-акселератора) определённые характеристики социума достигали величин, сравнимых с величинами характеристик классических тогдашних образцов модернизованности, на которые, очевидно, предметно ориентировалось российское государство [Жуков, Лямин..., 2011].

Подобные исследования проводились на «узком» историческом материале. Однако можно утверждать, что обозначенная величина М-акселератора соответствует общеисторическим представлениям. Модернизационное давление вполне могло на порядок превышать естественный (внутренний) потенциал развития отдельных социальных институтов. Эта сверхвеличина М-акселератора обуславливалась в значительной мере не разрушением в ходе модернизации, а кон-

сервацией традиционных структур. В результате возникала ситуация постоянного противоборства традиционных и модернизированных институтов вместо процессов трансформации и перерождения традиционных структур в модернизированные.

Новые надежды: самоорганизованная критичность

Теория самоорганизованной критичности (СОК) активно осваивается в социогуманитарных дисциплинах на Западе. Пока речь идёт об эпизодических исследованиях (исключением является экономика, где теория СОК используется довольно давно и успешно). Однако гипотеза о широкой распространённости самоорганизованной критичности в социальных процессах уже выдвинута и развивается (в частности, Г. Бранком [Brunk, 2002] и рядом другими исследователями [Roberts, 1998]). В России передовые разработки в этой области ведутся прежде всего в ЦФМ – это наша методологическая инициатива, поддержанная РФФИ.

Понятие «самоорганизованная (иногда употребляется «самоорганизующаяся») критичность» введено П. Баком и коллегами (BTW – Bak, Tang and Wiesenfeld) [Bak et al., 1998; Бак, 2013] для обозначения некоторого универсального свойства различных систем, состоящих из множества элементов и демонстрирующих поведение, которое может быть описано как «розовый шум». «Розовый шум» ($1/f$ -шум, фликкер-шум) – своего рода фрактальный процесс (фрактальный временной ряд, «рябь на ряби на ряби»). П. Бак показывает, что такие системы способны практически самопроизвольно (в результате слабого начального воздействия) генерировать критичность. Ключевые параметры таких систем изменяются в режиме «розового шума». Этот самоподобный в различных масштабах процесс состоит из подъёмов и кризисов («лавины»), которые «включают в себя» меньшие по масштабу кризисы и подъёмы, которые, в свою очередь, «включают в себя» ещё меньшие кризисы и подъёмы и т.д. (рис. 6).

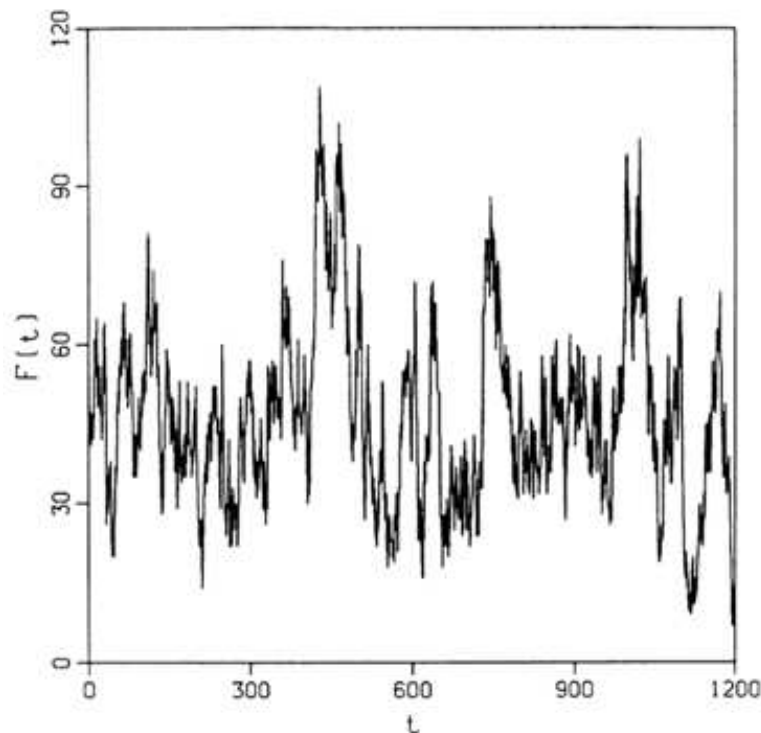


Рис. 6. «Искусственный» $1/f$ -шум, полученный в компьютерном эксперименте [Bak et al., 1998].

В природе обнаружено огромное количество систем, издающих «розовый шум». «Розовый шум» – своего рода голос Вселенной (от изменения яркости звёзд до биения сердца и электрической активности головного мозга). На роль основного объяснения «розового шума» и претендует теория самоорганизованной критичности. П. Баку и его коллегам удалось показать, что теория самоорганизованной критичности описывает огромное количество явлений: от динамики биржевых цен до динамики землетрясений [Бак, 2013]. Мы уверены, что столь распространённое явление свойственно и социальной реальности. Во всяком случае, сами основатели теории самоорганизованной критичности упоминают о $1/f$ -шуме в социальных процессах как о чём-то само собой разу-

меющемся, хотя и не занимаются этим вопросом специально.

П. Бак показал, что «фрактальная рябь» является распространённой в многокомпонентных сложных системах, в которых есть обратная связь и которые испытывают слабые внешние воздействия. Для изучения самоорганизованной критичности П. Бак совместно с К. Снеппеном создал имитационную компьютерную модель – генератор «розового шума». Эта модель известна как модель эволюции, однако она, как оказалось, применима к более широкому кругу явлений.

В рамках теории СОК крупные события рассматриваются не как результат воздействия на систему столь же значительных факторов, а как результат влияния множества ординарных, «несильных» факторов, мелких внутренних событий и незначительных внешних импульсов. Такое поведение систем вызвано прочной связью микро- и макроуровней, но возможно обычно в том случае, если в системе есть обратные связи.

Примечания

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 14-06-00093а «Приложение теории самоорганизованной критичности к изучению исторических процессов»; РГНФ в рамках научного проекта № 14-01-00355 «Русский фронт: политические, социальные и экономические аспекты (Юг России в XVI – конце XVIII в.)»; Министерства образования и науки РФ в рамках научного проекта «Междисциплинарные подходы в изучении истории позднего аграрного общества России (вторая половина XIX – первая треть XX в.)» (Государственное задание вузам в сфере научной деятельности на 2014–2016 гг. (проектная часть). Задание № 33.956.2014/К).

Библиографический список

- Bak P., Tang C., Wiesenfeld K.* Self-organized criticality // *Phys. Rev. A.* 1988. Vol. 38, № 1.
- Brunk G.G.* Why Are So Many Important Events Unpredictable? Self-Organized Criticality as the @Engine of History@ // *Japanese Journal of Political Science.* 2002. Vol. 3. Issue 1. URL: <http://dx.doi.org/10.1017/S1468109902000129> (дата обращения: 03.07.2014).
- Mandelbrot B.B.* *The Fractal Geometry of Nature.* 1982, New York US and Oxford UK: W.H. Freeman and Company.
- Rieber A.* *The Sedimentary Society // Between Tsar and People: Educated Society and the Quest for Public identity in Late Imperial Russia.* Princeton, 1991.
- Roberts D.C., Turcotte D.L.* Fractality and Self-Organized Criticality of Wars // *Fractals.* 1998. No 06, Vol. 351. URL: 10.1142/S0218348X98000407 (дата обращения: 03.07.2014).
- Turchin P., Nefedov S.* *Secular Cycles.* Princeton, New-Jersey: Princeton University Press, 2009.
- Zhukov D.S., Kanishchev V.V., Lyamin S.K.* Fractal Modeling of Historical Dynamics of Frontier Territories: the Heuristic Potential // *Fractal simulation (English ed.).* 2013. No 1.
- Zhukov D.S., Lyamin S.K.* Computer Fractal Modeling and Politological Analysis of the Destruction of Traditional Informal Institutions // *Современные исследования социальных проблем (Электронный научный журнал).* 2013. №7. URL: 10.12731/2218-7405-2013-7-12 (дата обращения: 03.07.2014).
- Zhukov D., Kanishchev V., Lyamin S.* Fractal Modeling of Historical Demographic Processes // *Historical Social Research.* 2013. No. 2, Vol. 38.
- Zhukov D., Lyamin S.* Computer Modeling of Historical Processes by Means of Fractal Geometry // *Historical Social Research.* № 133, Vol. 35 (2010) 3.
- Алексеев В.В., Бородкин Л.И., Коротаев А.В., Малинецкий Г.Г., Подлазов А.В., Малков С.Ю., Турчин П.В.* Международная конференция «Математическое моделирование исторических процессов» // *Вестник Российского фонда фундаментальных исследований.* 2007. № 6.
- Ахременко А.С.* Динамический подход к математическому моделированию политической стабильности // *Полис.* 2009. № 3.
- Бак П.* Как работает природа: Теория самоорганизованной критичности. М., 2013.
- Бородкин Л.И.* «Порядок из хаоса»: концепции синергетики в методологии исторических исследований // *Новая и новейшая история.* 2003. № 2.
- Бородкин Л.И.* Концепции синергетики в исследованиях неустойчивых исторических процессов: современные дискуссии // *Информ. бюл. Ассоциации «История и компьютер».* 2008. № 35.
- Бородкин Л.И.* Методология анализа неустойчивых состояний в политико-исторических процессах // *Междунар. процессы.* 2005. Т.3, №7.
- Бородкин Л.И.* Digital history: применение цифровых медиа в сохранении историко-культурного

- наследия? // Ист. информатика. Информ. технологии и мат. методы в ист. исследованиях и образовании. 2012. №1.
- Бородкин Л.И., Гарскова И.М.* Историческая информатика: перезагрузка? // Вестник Пермского университета. Сер.: История. 2011. Вып. 2.
- Гагарина Д.А.* Моделирование в истории: подходы, методы, исследования // Вестник Пермского университета. Сер.: Математика. Механика. Информатика. 2009. Вып. 7.
- Гарскова И.М.* Основные направления развития исторической информатики в конце XX – начале XXI в. // Вестник Московского университета. Сер. 8: История. 2010. № 6.
- Головашина О.В. Модернизация – незавершённый проект или традиционная ментальность в современной России // Ineternum. 2011. №2.
- Гринин Л.Е., Коротаев А.В., Марков А.В.* Макроэволюция в живой природе и обществе. М., 2008.
- Жеребятьев Д.И.* Междисциплинарное взаимодействие в процессе виртуальной реконструкции объектов монастырского комплекса // Вестник Пермского университета. Сер.: История. 2011. Вып. 2.
- Жуков Д.С., Лямин С.К.* Живые модели ушедшего мира: фрактальная геометрия истории. Тамбов, 2007.
- Жуков Д.С.* Прогностические возможности компьютерной модели институциональной модернизации // Ineternum. 2012. № 1.
- Жуков Д.С., Канищев В.В., Лямин С.К.* Исторические приложения фрактального моделирования // Ист. информатика. Информ. технологии и мат. методы в ист. исследованиях и образовании. 2013. № 1.
- Жуков Д.С., Канищев В.В., Лямин С.К.* Моделирование взаимодействия российского аграрного общества и природы средствами фрактальной геометрии: первые результаты эксперимента // Информ. бюл. Ассоциации «История и компьютер». 2012. № 38.
- Жуков Д.С., Лямин С.К.* Моделирование динамики средовых и ментальных характеристик социума средствами фрактальной геометрии // Круг идей: модели и технологии исторических реконструкций. М.; Барнаул; Томск, 2010.
- Жуков Д.С., Лямин С.К.* Результаты верификации фрактальной имитационной модели социально-культурных сетевых связей в русском городе второй половины XIX – начала XX в. // Fractal simulation. 2011. №1.
- Зудов Н.Е.* Центр фрактального моделирования социальных и политических процессов // Fractal Simulation. 2011. №1.
- Колобов О.А., Петухов А.Ю.* Фрактальный метод в применении к политическим и общественным системам // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2010. № 6.
- Мазур Л.Н. Исторические модели: виды, возможности и ограничения // Рос. история. 2011. № 2.
- Малков А.С., Малинецкий Г.Г., Чернавский Д.С.* Математические модели исторических процессов: мечта или реальность? // Информ. войны. 2009. № 1.
- Негин А.Е., Миронос А.А.* Математические методы в исторических исследованиях: Электронное учеб.-метод. пособие. Н. Новгород, 2012.
- Сморгунов Л.В.* Сложность в политике: некоторые методологические направления исследований // Вестник Санкт-Петербургского университета. Сер. 6: Философия. Культурология. Политология. Право. Международные отношения. 2012. № 4.
- Тихомиров А.А.* Человеческий потенциал инновационной экономики: методологические принципы фрактального моделирования // Регион: системы, экономика, управление. 2012. № 3.

Дата поступления рукописи в редакцию 01.07.2014

FRactal Modeling Center: The Development of Tools for the Study of Social Phenomena

D. S. Zhukov, V. V. Kanischev, S. K. Lyamin, Y. I. Movchko

G.R. Derzhavin Tambov State University, *Internatsionalnaya* str., 33,392000, Tambov, Russia
ineternatum@mail.ru
laomin@mail.ru
valcan@mail.ru

The paper is dedicated to the development of research tools for modeling historical events and processes. The authors describe the software, theoretical approaches and techniques, as well as some heuristic difficulties and innovations arising from the adoption of new modeling tools in Social Sciences. Main attention is paid to the research of the Fractal Modeling Center of Tambov State University. The studies involve the use of methods of fractal geometry to simulate mental, demographic, historical and ecological processes, the dynamics of socio-political structures. According to the authors, fractal model can detect regularity and harmonious order in chaotic systems. The paper presents some information on fractal transition model created by the authors and on the concept of “turbulent modernization”. The authors analyze the prospects of using the theory of self-organized criticality in the study of social phenomena and processes and demonstrate the possibility of integration of mathematical methods and synergetic views into the studies in Social Sciences and the Humanities by using simulation models as a kind of “heuristic machine” to formulate hypotheses and to identify potential and development alternatives.

Key words: fractal geometry, self-organized criticality, modeling of social phenomena, Fractal Modeling Center.

References

- Bak P., Tang C., Wiesenfeld K.* Self-organized criticality // *Phys. Rev. A.* 1988. Vol. 38, № 1. P. 364–374.
- Brunk G.G.* Why Are So Many Important Events Unpredictable? Self-Organized Criticality as the @Engine of History@ // *Japanese Journal of Political Science.* 2002/Vol. 3. Issue 1. P. 25–44. URL: <http://dx.doi.org/10.1017/S1468109902000129> (data obrashcheniya: 03.07.2014).
- Mandelbrot B.B.* *The Fractal Geometry of Nature.* 1982, New York US and Oxford UK: W.H. Freeman and Company.
- Rieber A.* *The Sedimentary Society // Between Tsar and People: Educated Society and the Quest for Public Identity in Late Imperial Russia.* Princeton, 1991.
- Roberts D.C., Turcotte D.L.* Fractality and Self-Organized Criticality of Wars // *Fractals.* 1998. No 06. Vol. 351. P. 351–358. URL: 10.1142/S0218348X98000407 (data obrashcheniya: 03.07.2014).
- Turchin P., Nefedov S.* *Secular Cycles.* Princeton, New-Jersey: Princeton University Press, 2009.
- Zhukov D.S., Kanishchev V.V., Lyamin S.K.* Fractal Modeling of Historical Dynamics of Frontier Territories: the Heuristic Potential // *Fractal simulation (English ed.).* 2013. No 1.
- Zhukov D.S., Lyamin S.K.* Computer Fractal Modeling and Politological Analysis of the Destruction of Traditional Informal Institutions // *Sovremennye issledovaniya sotsial'nykh problem / Elektronnyy nauchnyy zhurnal.* 2013. №7. URL: 10.12731/2218-7405-2013-7-12 (data obrashcheniya: 03.07.2014).
- Zhukov D., Kanishchev V., Lyamin S.* Fractal Modeling of Historical Demographic Processes // *Historical Social Research.* 2013. No. 2, Vol. 38. R. 271–287.
- Zhukov D. & Lyamin, S.* Computer Modeling of Historical Processes by Means of Fractal Geometry // *Historical Social Research.* № 133, Vol. 35 (2010) 3. R. 323–350.
- Alekseev V.V., Borodkin L.I., Korotaev A.V., Malinskiy G.G., Podlazov A.V., Malkov S.Yu., Turchin P.V.* Mezhdunarodnaya konferentsiya «Matematicheskoe modelirovanie istoricheskikh protsessov» // *Vestnik Rossiyskogo fonda fundamental'nykh issledovaniy.* 2007. № 6.
- Akhremenko A.S.* Dinamicheskii podkhod k matematicheskomu modelirovaniyu politicheskoy stabil'nosti // *Polis.* 2009. № 3. S. 105–112.
- Bak P.* *Kak rabotayet priroda: Teoriya samoorganizovannoy kritichnosti.* M., 2013.
- Borodkin L.I.* «Poryadok iz khaosa»: kontseptsii sinergetiki v metodologii istoricheskikh issledovaniy // *Novaya i novyeyshaya istoriya.* 2003. № 2. S. 98–118.
- Borodkin L.I.* Kontseptsii sinergetiki v issledovaniyakh neustoychivyykh istoricheskikh protsessov: sovremennye diskussii // *Inform. byul. Assotsiatsii «Istoriya i komp'yuter».* 2008. № 35. S. 28–29.
- Borodkin L.I.* Metodologiya analiza neustoychivyykh sostoyaniy v politiko-istoricheskikh protsessakh // *Mezhdunar. protsessy.* 2005. T.3. №7. S. 4–16.
- Borodkin L.I.* Digital history: primeneniye tsifrovyykh media v sokhraneni i istoriko-kul'turnogo naslediya? // *Ist. informatika. Inform. tekhnologii i mat. metody v ist. issledovaniyakh i obrazovanii.* 2012. №1. S. 14–21.
- Borodkin L.I., Garskova I.M.* Istoricheskaya informatika: perezagruzka? // *Vestnik Permskogo universiteta. Ser.: Istoriya.* 2011. Vyp. 2. S. 5–11.
- Gagarina D.A.* Modelirovanie v istorii: podkhody, metody, issledovaniya // *Vestnik Permskogo universiteta. Ser.: Matematika. Mekhanika. Informatika.* 2009. Vyp. 7. S. 26–33.
- Garskova I.M.* Osnovnye napravleniya razvitiya istoricheskoy informatiki v kontse XX – nachale XXI v. // *Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser. 8: Istoriya.* 2010. № 6. S. 85–103.
- Golovashina O.V.* Modernizatsiya – nezavershennyy projekt ili traditsionnaya mental'nost' v sovremennoy Rossii // *Ineternum.* 2011. №2. S. 56–62.
- Grinin L.E., Korotaev A.V., Markov A.V.* Makroevolyutsiya v zhivoy prirode i obschestve. M., 2008.
- Zherebyat'ev D.I.* Mezhdistsiplinarnoe vzaimodeystvie v protsesse virtual'noy rekonstruktsii ob'ektov monastyrskogo kompleksa // *Vestnik Permskogo universiteta. Ser.: Istoriya.* 2011. Vyp. 2. S. 48–53.
- Zhukov D.S., Lyamin S.K.* Zhivye modeli ushedshego mira: fraktal'naya geometriya istorii. Tambov, 2007.

- Zhukov D.S.* Prognosticheskie vozmozhnosti komp'yuternoy modeli institutsional'noy modernizatsii // Ineternum. 2012. № 1. S. 7-35.
- Zhukov D.S., Kanishchev V.V., Lyamin S.K.* Istoricheskie prilozheniya fraktal'nogo modelirovaniya // Ist. informatika. Inform. tekhnologii i mat. metody v ist. issledovaniyakh i obrazovanii. 2013. № 1. S. 71-82.
- Zhukov D.S., Kanishchev V.V., Lyamin S.K.* Modelirovanie vzaimodeystviya rossiyskogo agrarnogo obshchestva i prirody sredstvami fraktal'noy geometrii: pervye rezul'taty eksperimenta // Inform. byul. Assotsiatsii «Istoriya i komp'yuter». 2012. № 38. S. 74–75.
- Zhukov D.S., Lyamin S.K.* Modelirovanie dinamiki sredovykh i mental'nykh kharakteristik sotsiuma sredstvami fraktal'noy geometrii // Krug idey: modeli i tekhnologii istoricheskikh rekonstruktsiy. M., Barnaul, Tomsk, 2010. S. 50–83.
- Zhukov D.S., Lyamin S.K.* Rezul'taty verifikatsii fraktal'noy imitatsionnoy modeli sotsial'no-kul'turnykh setevykh svyazey v russkom gorode vtoroy poloviny XIX – nachala XX v. // Fractal simulation. 2011. №1. S. 39–48.
- Zudov N.E.* Tsentr fraktal'nogo modelirovaniya sotsial'nykh i politicheskikh protsessov // Fractal Simulation. 2011. №1. S. 6–9.
- Kolobov O.A., Petukhov A.Yu.* Fraktal'nyy metod v primenenii k politicheskim i obshchestvennym sistemam // Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo. 2010. № 6. S. 268–273.
- Mazur L.N.* Istoricheskie modeli: vidy, vozmozhnosti i ogranicheniya // Ros. istoriya. 2011. № 2. S. 142–149.
- Malkov A.S., Malinetskiy G.G., Chernavskiy D.S.* Matematicheskie modeli istoricheskikh protsessov: mechta ili real'nost'? // Inform. voyny. 2009. № 1. S. 54–61.
- Negin A.E., Mironos A.A.* Matematicheskie metody v istoricheskikh issledovaniyakh: Elektronnoe ucheb.-metod. posobie. N. Novgorod, 2012.
- Smorgunov L.V.* Slozhnost' v politike: nekotorye metodologicheskie napravleniya issledovaniy // Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Ser. 6: Filosofiya. Kul'turologiya. Politologiya. Pravo. Mezhdunarodnye otnosheniya. 2012. № 4. S. 90–101.
- Tikhomirov A.A.* Chelovecheskiy potentsial innovatsionnoy ekonomiki: metodologicheskie printsipy fraktal'nogo modelirovaniya // Region: sistemy, ekonomika, upravlenie. 2012. № 3. S. 37–40.