

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСТОРИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

MODELLING OF HISTORICAL PROCESSES

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕОРИИ САМООРГАНИЗОВАННОЙ КРИТИЧНОСТИ В ИЗУЧЕНИИ ДЕМОГРАФИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В РОССИЙСКОМ ПОЗДНЕМ АГРАРНОМ ОБЩЕСТВЕ*

APPLICABILITY OF SELF-ORGANIZED CRITICALITY THEORY FOR STUDY OF DEMOGRAPHIC PROCESSES IN THE RUSSIAN LATE AGRARIAN SOCIETY

Жуков Дмитрий Сергеевич

Кандидат исторических наук, доцент кафедры международных отношений и политологии Тамбовского государственного университета им. Г. Р. Державина.

E-mail: ineternatum@mail.ru

Dmitry S. Zhukov

Канищев Валерий Владимирович

Доктор исторических наук, профессор кафедры Российской истории Тамбовского государственного университета им. Г. Р. Державина.

E-mail: valcan@mail.ru

Valery V. Kanishchev

Лямин Сергей Константинович

Кандидат исторических наук, доцент кафедры Российской истории Тамбовского государственного университета им. Г. Р. Державина.

E-mail: laomin@mail.ru

Sergey K. Lyamin

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 14-06-00093а «Приложение теории самоорганизованной критичности к изучению исторических процессов», а также при поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках государственного задания вузам в сфере научной деятельности, проект № 33.956.2014/К.

Рассматривается эвристический потенциал использования теории самоорганизованной критичности (СОК) в исторических исследованиях. Изложены основные понятия и идеи теории СОК. Произведен анализ работ, выполненных на стыке СОК и социополитических дисциплин. Описаны методы идентификации эффектов СОК, а также изучены некоторые историко-демографические процессы для обнаружения в них $1/f$ -шума. Дана интерпретация полученных результатов.

Ключевые слова: самоорганизованная критичность, $1/f$ -шум, розовый шум, история, историческая демография, социальные феномены.

The purpose of the article is to demonstrate the heuristic potential of the theory of self-organized criticality (SOC) in historical studies. The authors outline basic concepts and ideas of SOC, overview preceding interdisciplinary studies and describe tools to identify SOC effects. The authors also present results of the $1/f$ -noise search in some historical and demographic processes, as well as interpret their findings.

Keywords: self-organized criticality, $1/f$ -noise, pink noise, history, historical demography, social phenomena.

Исследование, отдельные результаты которого представлены здесь, направлено на разработку эвристически продуктивных приложений теории самоорганизованной критичности (СОК) в исторических исследованиях. В этой статье, посвященной итогам начального этапа нашего проекта, мы стремились решить более узкую задачу — продемонстрировать применимость инструментов и походов теории СОК к изучению исторических процессов.

Раздел «Подходы» содержит изложение основных понятий и идей теории СОК. Значительное внимание — в разделе «Литература» — уделено анализу зарубежных и отечественных работ, посвященных как самой теории СОК, так и ее приложениям. Мы, в частности, попытались прояснить эвристику исследований, выполненных с использованием этой теории. В разделе «Методы» мы излагаем инструментарий, посредством которого в исторических процессах могут быть обнаружены проявления самоорганизованной критичности. Мы уверены, что столь распространенное явление как СОК и ее атрибут — розовый шум — свойственны и исторической реальности. Во всяком случае, сами основатели теории упоминают о розовом шуме в истории как о чем-то само собой разумеющемся, хотя и не занимаются этим вопросом специально. В разделе «Анализ» мы исследуем некоторые историко-демографические процессы на предмет обнаружения в них розового шума. А в разделе «Обсуждение результатов» мы рассматриваем, какую эвристическую ценность можно извлечь из обнаружения СОК в истории — какие гипотезы применительно к историческим феноменам можно развивать, опираясь на объяснительные схемы теории СОК.

ПОДХОДЫ

Что такое самоорганизованная критичность?

Понятие «самоорганизованная (иногда употребляется «самоорганизующаяся») критичность» введено Пером Баком и коллегами (P. Bak, C. Tang и K. Wiesenfeld — BTW) в их классической статье «Self-organized criticality»¹ 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» (см. рис. 1, 2).

Наибольшее влияние не только на естественно-научные изыскания, но и на сопредельные области и, в частности, на социогуманитарное исследовательское пространство оказала книга Пера Бака «How Nature Works: The Science of Self-Organized Criticality»².

Хотя самоорганизованная критичность и розовый шум не строго синонимичны, П. Баку и его коллегам удалось показать, что теория СОК описывает огромное количество явлений: от динамики биржевых цен до динамики землетрясений.

«Такие несхожие вещи — писал П. Бак, — как разлив Нила, излучение квазаров... или движение на загруженной дорожной магистрали, позволяют наблюдать явление, называемое $1/f$ -шумом... Здесь есть изменения всех размеров: быстрые, происходящие за несколько минут, и медленные, длящиеся годами... Это сигнал может рассматриваться как суперпозиция всплесков всевозможных масштабов; он выглядит как горный ландшафт,

но только не в пространстве, а во времени. Можно посмотреть на него и как на наложение периодических сигналов всех частот — это просто другой способ сказать, что в нем есть составляющие всех временных масштабов... $1/f$ -сигнал сочетает в себе всплески всех длительностей»³. Рисунок 1 демонстрирует естественный природный процесс, являющийся розовым шумом.

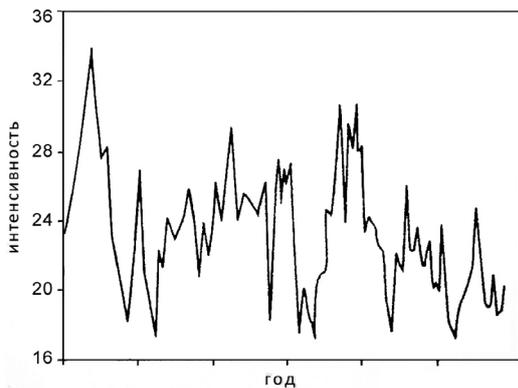


Рис. 1. Пример $1/f$ -шума — излучение квазара за 80 лет⁴

В природе обнаружено огромное количество систем, издающих розовый шум. Розовый шум — своего рода голос Вселенной (от изменения яркости звезд до биения сердца и электрической активности головного мозга). На роль основного объяснения розового шума и претендует теория самоорганизованной критичности.

П. Бак показывает, что некоторые системы способны практически самопроизвольно (в результате слабого воздействия) генерировать критичность (скачкообразное резкое изменение — «лаvinу», «срыв»). Ключевые параметры таких систем перед «срывом» изменяются в режиме розового шума. Этот самоподобный в различных масштабах процесс состоит из подъемов и кризисов, которые «включают в себя» меньшие по масштабу кризисы и подъемы, которые в свою очередь «включают в себя» еще меньшие кризисы и подъемы и т. д. Состояние критичности подразумевает, что возникшее в системе событие (даже кратковременное и низкоэнергетическое) имеет не только локальные, но и глобальные для всей системы последствия. Ансамбль подобных событий, который генерирует розовый шум, позволяет системе относительно долгое время существовать относительно устойчиво; но во многих случаях система переживает скоротечный кризис — резкую разбалансировку основных параметров. Следовательно, розовый шум является предвестником катастрофы, хотя во множестве известны реальные системы, которые, издавая розовый шум, существуют неограниченно долго. Это наталкивает на мысль

о существовании некоторых механизмов обеспечения устойчивости.

Розовый шум является проявлением во времени некоторого степенного закона. Статистические степенные законы связывают определенным образом количество объектов (или событий) с их основными свойствами. Математическая сущность степенных законов хорошо и довольно прозрачно изложена в статье Г. Г. Малинецкого⁵.

Если выполняется степенной закон (степенное распределение), то эта связь формализуется как обратная пропорциональность. Например, сильных землетрясений происходит мало, средней силы — среднее количество, а слабых — много, совсем слабых — очень много. Если некоторая совокупность объектов подчиняется степенному распределению, то в ней есть объекты всех масштабов, что, вообще говоря, характерно для фрактальных структур. Пожалуй, самым известным является степенной закон распределения силы и количества землетрясений (закон Гутенберга — Рихтера), графическое выражение которого представлено на рисунке 2.

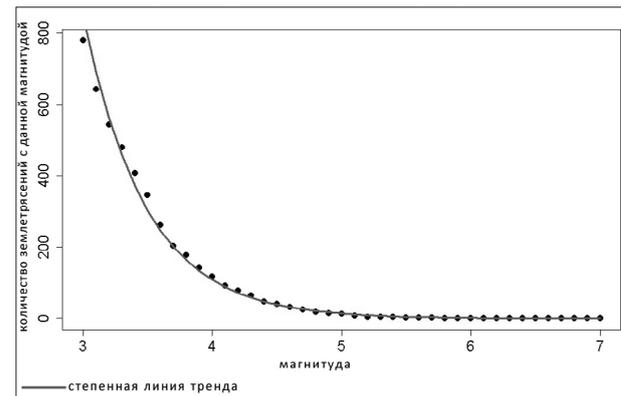


Рис. 2. Закон Гутенберга — Рихтера

Мощность розового шума («размах» и «энергия» колебаний) распределена по частотам в соответствии со степенным законом со степенью около 1. Кстати, запись сейсмической активности на некоторой территории в течение достаточно длительного отрезка времени представляет собой именно розовый шум. Как историков нас интересуют главным образом временные ряды.

Можно сказать, что теория СОК — это родная сестра фрактальной геометрии, интегрировавшая многие представления Б. Мандельброта и его коллег и последователей⁶. «Результирующую динамику [систем с самоорганизованной критичностью], — указывал П. Бак, — можно понять в терминах пространственно-временного фрактала»⁷.

Практически сразу после появления первых идей СОК была высказана гипотеза о перенесении объяснительных схем данной теории на социополитические процессы.

Что такое розовый шум?

Уделим некоторое внимание «цветам» шумов (т. е. типам разнообразных процессов). На рисунках 3, 4 и 5 изображены спектрограммы белого, коричневого и розового шумов. Каждая точка — отдельная простая гармоника, множество которых и составляет сложный сигнал (шум, процесс). Координаты каждой точки соответствуют величинам частоты и мощности данной гармоники. (Все эти понятия мы рассмотрим детально в разделе «Методы»). Цвет шума это, как правило, «поэтическое» обозначение угла наклона линии тренда на спектрограмме.

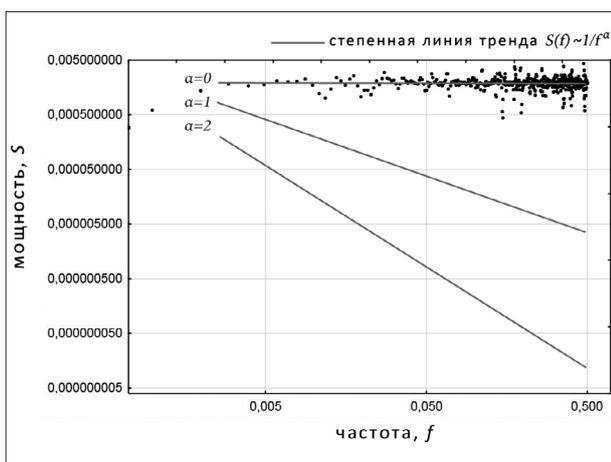


Рис. 3. Спектрограмма белого шума

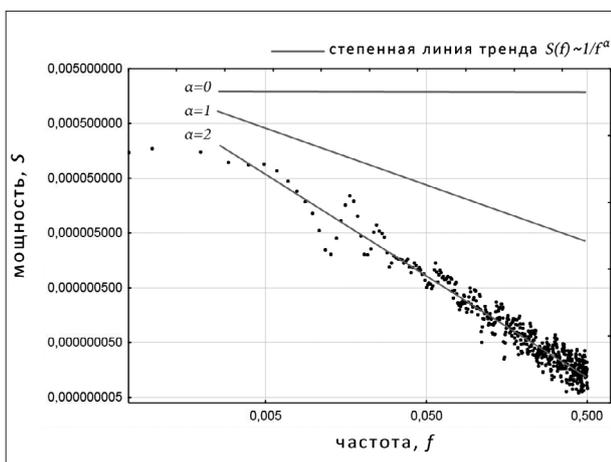


Рис. 4. Спектрограмма коричневого шума

Но эвристический смысл классификации процессов по цветам этим определением не исчерпывается. Классификация сделана не произвольно и не ради «раскрашивания» наклонов прямых в спектрограммах. Свой отдельный цвет получили сигналы, которые являются/порождаются разными по существу процессами в социальной и физической реальности. В чем же смысл этих различий?

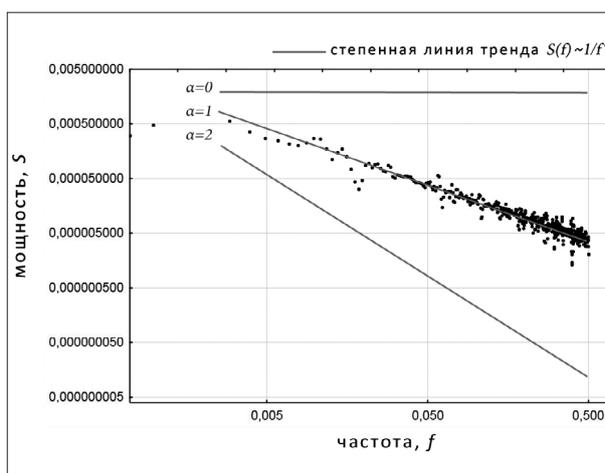


Рис. 5. Спектрограмма розового шума

Наиболее значительный эвристический потенциал имеют три цвета шума: белый, коричневый и розовый.

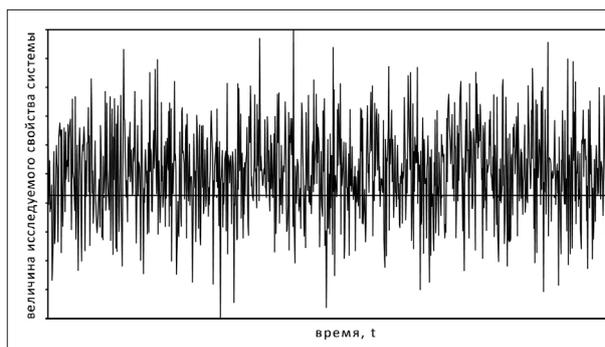


Рис. 6. Белый шум (пример)

Белый шум (рис. 6) — это проявление абсолютного хаоса. В нем нет никакой закономерности: все значения процесса случайны и не зависят никаким образом от предыдущих значений (т. е. процесс не имеет памяти). Это — результат смешения множества разнообразных событий, лишенный какой-либо упорядоченности, игра случая.

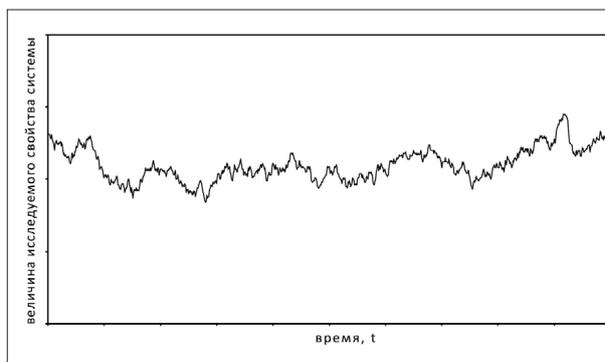


Рис. 7. Коричневый шум (пример)

Название коричневого шума (см. рис. 7), очевидно, произошло от неправильного перевода на русский язык термина броуновский шум (процесс случайного блуждания броуновской частицы часто используется как классический пример коричневого шума). Коричневый шум, в отличие от белого, это процесс с очень сильной памятью. Каждое последующее значение процесса (событие) сильно зависит от непосредственно предшествующего значения (события). В броуновском процессе все более ранние события также оказывают влияние на текущее событие, но только через цепочку непосредственно предшествующих друг другу событий. Следовательно, процесс обладает, выражаясь метафорически, краткосрочной памятью. Такая зависимость приводит к тому, что график коричневого шума более «сглаженный», «консервативный», чем график белого шума.

Коричневый шум имеет немало примеров в физических и социальных процессах. Казалось бы, вся история — это причинно-следственная цепочка событий — и всякий исторический процесс должен был бы быть коричневым шумом. Но известно, что исторические процессы в большинстве своем не имеют вид коричневого шума. Дело в том, что коричневый шум — это не единственный процесс с памятью.

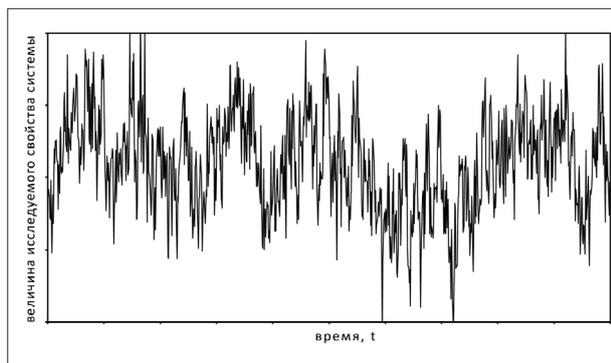


Рис. 8. Розовый шум (пример)

Розовый шум (рис. 8) располагается посередине между белым и коричневым шумами. Причем «посередине» — во всех смыслах. На спектрограмме наклон прямой, характерной для розового шума, таков, что она помещается между прямыми для белого и коричневого шумов (в тех же диапазонах частот и мощностей). И качественные свойства розового шума соединяют некоторые свойства белого и коричневого шумов. Розовый шум, так же, как и коричневый, обладает памятью, но каким-то образом каждое значение (событие) зависит не от непосредственно предшествующего события, но прямо от всех

событий, произошедших ранее, — от некоторой закономерности, которую они генерируют, т. е. розовый шум накапливает долговременную память. Розовый шум, подобно белому, наполнен случайностями, но не лишен закономерности. Кроме того, атрибут розового шума — фрактальность (совмещение в одном процессе событий всех масштабов: маленьких всплесков, средних волн, грандиозных цунами). Эта масштабная инвариантность — самоподобие — приводит к тому, что относительно небольшой отрезок такого процесса выглядит подобно всему процессу. Закономерность, свойственная процессу на значительном временном отрезке, будет выполняться и на относительно малом временном отрезке. Хронологически локальное событие является подобием долговременного комплекса событий, т. е. исторического контекста.

Как оказалось, розовый шум — весьма распространенный тип процессов. Когда в результате накопления эмпирических данных было осознано, что это «голос Вселенной» — проявление неких универсальных законов развития систем вне зависимости от их природы — начались активные поиски общей теории, которая объясняла бы механизм возникновения розовых шумов.

Для социополитических исследований важно то, что розовый шум — это «фотография» процесса, обладающего памятью, т. е. зависящего в некоторой мере от предшествующих состояний в течение длительного прошлого. Вместе с тем каждая конкретная точка такого процесса не является строго детерминированной. В целом в таком процессе (для всех его отрезков) можем обнаружить статистические закономерности, но каждый его отдельный эпизод может обладать «индивидуальностью». Эти представления очень хорошо знакомы историкам. Пер Бак, размышляя о розовом шуме, ссылается именно на исторические методологические подходы (что не так часто встречается в естественно-научных трудах): «Четыре рассмотренных нами явления — регулярность катастроф, фракталы, $1/f$ -шум и закон Ципфа — ... их сходство заставляет задуматься: не есть ли все это проявления одного принципа... Возможно, таким фундаментальным принципом является самоорганизованная критичность. Системы с самоорганизованной критичностью приходят к сложному критическому состоянию без какого-либо вмешательства со стороны. Процесс самоорганизации происходит в течение очень долгого переходного периода... Этого не увидишь, изучая систему на временах, меньших, чем длительность эволюционного процесса. Выражение «не зная истории, нельзя понять происходящее сейчас» приобрета-

ет глубокий и точный смысл... Законы землетрясений не могут быть поняты на основе анализа землетрясений, случившихся за время, сравнимое с человеческой жизнью»⁸.

В целом описание прерывистого равновесия применительно к биологической эволюции или землетрясениям поразительно похоже на описание исторического процесса. Можно сказать, что это тот случай, когда историки пронаблюдали и описали феномен намного раньше физиков; однако, конечно, точное описание этого типа поведения могли дать лишь представители естественных наук: «Почему понятие прерывистого равновесия оказывается столь важным для нашего понимания природы? — размышлял П. Бак. — Возможно, это явление лучше, чем что-либо еще, иллюстрирует критичность сложных систем. Системы с прерывистым равновесием сочетают в себе черты замороженных, упорядоченных систем и хаотических, неупорядоченных систем. Эти системы могут помнить о своем прошлом благодаря длительным периодам застоя, позволяющим сохранять то, чему они научились на протяжении своей истории, имитируя поведение замороженных систем; вместе с тем они могут эволюционировать благодаря внезапным вспышкам активности. <...> Нерегулярным масштабным вспышкам нет места в равновесных системах, но они повсеместно встречаются в истории, биологии и экономике. <...> Сложное состояние существует на границе между предсказуемым периодическим поведением и непредсказуемым хаосом»⁹.

Самое первое объяснение, возникающее при анализе фрактального процесса, заключается в том, что этот процесс порождается фрактальной структурой — возникает как проявление развития или функционирования фрактальной структуры. Авторы статьи в собственных предшествующих исследованиях изначально также исходили из представления о том, что фрактальные процессы обусловлены фрактальностью систем. В литературе также встречаются подобные утверждения. И во многих случаях это действительно так. Но это, очевидно, лишь одна сторона медали. Исследования физических систем показали, что фрактальные структуры и фрактальные процессы возникают как взаимообусловленные. П. Бак сформулировал более общие причины фрактальных процессов для большого класса систем. Прочие объяснения для систем он считает правильными, но частными.

П. Бак показал, что «фрактальная рябь» возникает естественно и практически «сама собой» — в результате воздействия микроуровневых событий на макроуровневую динамику — в многокомпо-

нентных сложных системах, в которых есть обратная связь и слабые внешние воздействия.

ЛИТЕРАТУРА

Краткий обзор

Во многих теоретических¹⁰ и обзорных исследованиях¹¹, посвященных СОК, авторы однозначно утверждают, что эта теория в принципе применима, эвристически продуктивна и на практике используется для изучения социальных систем.

Однако сформировалась довольно странная ситуация. Утверждений о применимости теории СОК в социополитических исследованиях много. А статей, содержащих конкретные доказательства СОК в конкретных процессах, мало.

Наше знакомство с литературой показывает, что приложения теории СОК к изучению социополитических феноменов в подавляющем большинстве случаев принадлежат к одной из групп работ: 1) моделирование социальных реалий с помощью агентно-ориентированных моделей (искусственных сообществ); 2) исследование экономической динамики; 3) анализ психологических и социопсихологических феноменов; 4) урбанистика и изучение распределения культурных артефактов и социально-организационных паттернов как в современных городских средах, так и в доисторических обществах¹².

Наше исследование не принадлежит ни к одной из этих групп работ, поскольку мы стремимся обнаружить и объяснить эффекты СОК в реальных исторических социополитических системах. Надо сказать, что исследований, которые преследуют аналогичные цели, в зарубежной литературе немного, а в России нет вообще. Хотя Л. И. Бородин почти десять лет назад обратил внимание коллег на возможность применения теории СОК в исторических и политологических исследованиях¹³.

Вместе с тем методология теории хаоса используется российскими исследователями, развивается соответствующий стиль научного мышления и инструментарий моделирования¹⁴. В отечественной исторической науке активно разрабатываются синергетические представления о нелинейности процессов. Отечественные исследования по клиометрии и моделированию сосредоточены в нескольких центрах, связанных с Ассоциацией «История и компьютер», группой «Клиодинамика» и в некоторых других лабораториях и сообществах¹⁵.

Мы сфокусируем внимание на нескольких группах работ, имеющих отношение (прямое или косвенное) к историческим изысканиям.

Фокус 1: самоорганизованная критичность в искусственных сообществах

Эффекты, описываемые теорией СОК, весьма часто обнаруживаются в динамике искусственных сообществ (в агентно-ориентированных моделях, клеточных автоматах). Еще П. Бак обратил внимание на это обстоятельство и связал агентно-ориентированное моделирование с самоорганизованной критичностью. Известно, что П. Бак уделял большое внимание игре «Жизнь», модели «кучи песка» (изображение кучки песка, кстати говоря, является своего рода символом теории СОК). Вообще имитационные компьютерные модели играют особую — весьма значимую — роль в теории СОК, насыщая ее универсальными объяснительными схемами. Ключевой моделью теории является модель эволюции¹⁶, которую создали совместно Пер Бак и Ким Снеппен, можно в некотором смысле считать также клеточным автоматом¹⁷.

Модель Бака — Снеппена — генератор розового шума. Она известна как модель эволюции, однако, как оказалось, применима к более широкому кругу явлений. Модель Бака — Снеппена представляет собой кольцо из нескольких элементов, значения которых изменяются по некоторым правилам и воздействуют на соседние элементы. «Кто сказал, что сложность не может быть простой? — писал П. Бак — Эта простая схема ведет к гораздо более разнообразному поведению, чем мы можем вообразить. Сложность ее поведения резко контрастирует с простотой ее устройства»¹⁸.

Известно, что агентно-ориентированные модели хорошо (т. е. адекватно и интерпретабельно) имитируют некоторые естественные (не только социальные, но и физические, химические и пр.) системы. Искусственные сообщества связывают индивидуальное поведение объекта с коллективным поведением, с общей динамикой сообщества; они содержат многочисленные обратные связи, позволяющие генерировать коллективное поведение, парадоксально отличное от поведения отдельного агента. Динамика искусственных сообществ довольно часто представляет собой розовый шум. Исследуя их, мы можем понять, какие микроуровневые «правила игры» создают розовый шум. Соответственно, в исследованиях, посвященных агентно-ориентированному моделированию, делается вывод о том, что закономерности и эффекты СОК присущи и естественным прототипам, раз уж эти эффекты обнаруживаются в их виртуальных копиях¹⁹.

Во множестве подобного рода исследований не приведено эмпирических наблюдений розового шума собственно в естественных системах.

Принято считать, что агентно-ориентированные модели не дают точного знания (точнее —

предсказания событий), но они существенно изменяют общее видение социальных закономерностей, связывая простое микроповедение агентов и сложное, порой парадоксальное и катастрофическое течение макропроцессов. Этот подход (даже больше, чем собственно новое знание, полученное в виртуальных экспериментах) позволяет разрабатывать действенные социальные технологии, направленные на то, чтобы отслеживать / провоцировать / подавлять «спонтанную» активность, революционность социума.

Фокус 2: теоретические обоснования экспансии самоорганизованной критичности

Немалые усилия по распространению и адаптации положений и методов теории СОК в различных дисциплинах предприняли Д. Тьюкот²⁰, М. Бьюкенен²¹, Г. Г. Малинецкий и Г. Бранк.

Русское издание книги П. Бака «Как работает природа...» Г. Г. Малинецкий предваряет обширной вступительной статьей, в которой детально раскрыта исследовательская логика и эвристическая продуктивность СОК: «Теория самоорганизованной критичности дала объяснение явлению *прерывистого равновесия* (курсив автора цитаты. — авт.), которое наблюдается в процессе биологической эволюции, функционировании социальных и технических систем. Типичной оказывается ситуация, когда в течение очень большого времени ничего заметного не происходит, а затем стремительные изменения кардинально меняют облик системы, наступает время революций, что, разумеется, не отменяет множества мелких событий, которых мы просто не замечаем»²².

Несколько весьма ценных программных статей Г. Бранка²³ теоретически обосновывают применимость СОК для объяснения феноменов социальной реальности. В статье «Почему общества коллапсируют?...» Г. Бранк отмечает: «Я продвигаю теорию распада обществ, которая основана на самоорганизованной критичности, которая представляет собой нелинейный процесс. Этот процесс производит внезапные изменения и формирует фрактальные закономерности в исторических временных рядах. В целом, я предполагаю, что... самоорганизованные критичности повсеместно встречаются в человеческих системах. Если эта гипотеза верна, то она не только объяснила бы источник тотальных социальных коллапсов, но и могла бы стать паттерном для большинства других видов человеческих бедствий и даже для распределения частот многих обыденных каждодневных событий»²⁴. В статье «Почему столь многие важные события непредсказуемы? Самоорганизованная критичность как „двигатель истории“» тот же Г. Бранк пишет: «Нелинейные динамические процессы са-

моорганизованной критичности... позволяют объяснить ряд нерешенных аномалий:... почему невозможно предугадать внезапные политические, экономические и социальные изменения? Почему исторические данные почти всегда содержат несколько экстремальных значений, которые, на первый взгляд, вызваны некоей причиной, отличной от причин остальных значений?... Почему тривиальные случаи иногда развиваются во внезапные изменения...? В среде с самоорганизованной критичностью, которая характерна для человеческой истории, величина причины часто не связана с величиной ее эффекта»²⁵.

В работах Г. Бранка (в некоторой мере под влиянием высказываний самого П. Бака) есть некоторые идеи, которые, как нам представляется, трактуются исследователями слишком утрированно. Это непредсказуемость (точное время больших кризисов в теории СОК практически невозможно точно локализовать) и фатализм (большие кризисы в теории СОК неизбежны, поскольку имманентно присущи системным процессам). Между тем довольно хорошо известно, что абсолютная предсказуемость в социальных процессах в принципе невозможна из-за участия в них людей. Между тем СОК позволяет указать на ту или иную вероятность наступления событий, хотя отказывает нам в ответе на вопрос «Когда точно это произойдет?». Это обстоятельство может показаться пороком теории, но мы как историки знаем, это, вообще говоря, совершенно приемлемая исследовательская ситуация. Фатальная неизбежность наступления масштабных кризисов также хорошо известна историкам (за исключением ортодоксальных позитивистов-эволюционистов). Однако историческая закономерность может быть реализована в разных форматах: очень часто сами люди решают, будут ли эти форматы прекрасными и преступными. Следовательно, конкретные проявления неизбежности социальных трансформаций могут различаться в широком диапазоне. Причем в определенные моменты в точках бифуркации люди могут выбирать и саму закономерность из нескольких «предложенных». Какой уж тут фатализм? В этом смысле концепция СОК фаталистична не более любой другой концепции, развивающейся в русле теории хаоса.

Фокус 3: самоорганизованная критичность в социополитической реальности

Как было упомянуто, работ, посвященных самоорганизованной критичности в конкретных эмпирических социальных процессах, немного. Одной из наиболее ранних подобных попыток является работа Д. Робертса и Д. Тьюкота «Фрактальность и самоорганизованная критичность войн»²⁶. В качестве исходных данных авторы ис-

пользуют сведения из работ коллег об интенсивности и количестве войн в мире с 1820 по 1949 г., с 1495 по 1973 г., с 1816 по 1980 г. В статье демонстрируется, что распределение войн по интенсивности и количеству (во всех трех выборках) подчиняется степенному закону. Авторы показали, что это распределение хорошо имитируется агентно-ориентированной моделью «лесного пожара». Это подтолкнуло их к некоторым качественным политологическим интерпретациям, которые делаются посредством перенесения принципов и законов поведения системы в модели «лесного пожара» на военно-политические события и ситуации. «Можно, — отмечают Д. Робертс и Д. Тьюкот, — качественно интерпретировать крушение порядка в мире, уподобив этот процесс возникновению огня в модели «лесного пожара». В этой модели [в результате первоначальной «искры», которая может быть отождествлена с некоторым событием-инициатором — как, например, вторжение в другую страну или убийство политика] иногда возникает пожар, а иногда — нет. Иногда возникает сильный пожар, иногда — слабый. Но статистика частоты — силы пожаров подчиняется степенному закону. С точки зрения мирового порядка есть небольшие конфликты, которые могут или не могут перерасти в крупные войны. Стабилизирующие и дестабилизирующие влияния, очевидно, весьма сложны. Полученные нами результаты свидетельствуют, что мировой порядок ведет себя как самоорганизованная критическая система, независимая от усилий, предпринимаемых для контроля и стабилизации взаимодействий между людьми и странами»²⁷.

Схожая эвристика применена в работе М. Бигса с характерным названием «Забастовки как лесной пожар...»²⁸. Он также использует модель «лесного пожара» для имитации эффектов, обнаруживаемых в «классовых конфликтах» в Чикаго с 1881 по 1886 г. и в стачках в Париже с 1890 по 1899 г. Распределение этих событий по размеру и массовости также подчиняется степенному закону.

Тема войн является весьма популярной у специалистов по social simulation (очевидно, вследствие важности вопроса, распространенности самого явления и удобства формализации его основных параметров). Л.-Е. Цедерман²⁹ пытается найти причины, по которым войны распределены в соответствии со степенным законом. В его модели на распределение войн оказывает влияние «процесс технологических изменений, ведущий к контекстуально зависимым стохастическим решениям о развязывании войн»³⁰.

Кстати, исследования Д. Робертса, Д. Тьюкота и Л.-Е. Цедермана вдохновлены трудом Л. Ричард-

сона³¹, в котором искомым степенной закон и обнаруживается. А появление теории СОК и искусственных сообществ вроде «лесного пожара» позволило современным авторам реинтерпретировать классические наблюдения Л. Ричардсона.

В 2014 г. большой коллектив авторов — С. Пиколи, М. дель Кастилло-Массот, Х. Рибейро, Е. Ленци, Р. Мендес — опубликовал одну из немногих статей, где дано прямое доказательство (на основании эмпирических наблюдений) наличия самоорганизованной критичности в современных социополитических процессах³². Авторы использовали базы данных по «насиленным событиям» в Ираке (2003–2005 гг.), Афганистане (2008–2010 гг.) и Северной Ирландии (1969–2001 гг.). Распределение этих событий по длительности и «размеру» также подчиняется степенному закону.

Авторы делают вывод о статистическом подобии исследованных событий с определенными природными явлениями (землетрясениями и пр., для которых степенные законы хорошо известны). Это подобие вдохновляет авторов сделать некоторые политологические выводы, распространяя объяснительные схемы, в частности землетрясений, на социополитические конфликты: «Несмотря на то, что деятельность человека и природные явления различны по своей природе, было высказано предположение, что они могут быть описаны в рамках общего подхода. Например, возникновение землетрясений связано со [скоротечной] релаксацией накопленного напряжения при достижении порогового значения, как это показано в теории самоорганизованной критичности. Аналогично, насильственные события в человеческих конфликтах могут быть связаны с пороговым механизмом. В этом случае описание человеческих конфликтов в терминах СОК кажется правдоподобным. Наши данные согласуются с этой возможностью, обеспечивая количественную поддержку аналогиям между паттернами человеческих конфликтов и природными явлениями, для которых свойственна самоорганизованная критичность»³³.

Заметим, что такие уподобления в позитивистском духе, конечно, являются скорее формой эвристического поиска, а не доказательной аргументацией. Именно такой осторожной позиции, судя по всему, и придерживаются авторы этого исследования.

Т. Кнор и Т. Грунд³⁴ в работе «Общество как самоорганизованная критическая система» предприняли попытку обосновать идею, что современное общество обладает всеми атрибутами критического состояния и, следовательно, склонно к медленному разбалансированию («disequilibrate») с последующими «срывами» основных параметров в бесконечность, что для реальной социальной си-

стемы означает разрушение. Авторы предлагают некоторые социально-политические рекомендации — «стратегии вмешательства для предотвращения социальных систем от разрушения». Это, например, «селективные целевые воздействия», под которыми авторы подразумевают отдельные немасштабные акции международного сообщества, которые предпринимаются в точках бифуркации для того, чтобы содействовать реализации желаемых альтернатив. Такие стратегии не предполагают тотального контроля над менеджруемой системой.

Заметим, что степенной закон, а также его проявление во времени — розовый шум, действительно, часто являются предшественниками скачкообразной разбалансировки системы и уходу ее количественных характеристик в бесконечность (т. е. социальному краху). В теории СОК есть утверждение, что розовый шум — это предвестник агонии. Однако известно также и то, что многие системы способны (благодаря некоторым механизмам поддержания гомеостаза) издавать розовый шум бесконечно долго, т. е. пребывать в норме в состоянии, близком к срыву в критическое «пике».

МЕТОДЫ

Как идентифицировать розовый шум?

Идентификация розового шума в исторических процессах — это первый и необходимый шаг в наших исследованиях. Обнаружив розовый шум в том или ином процессе, мы получаем право выдвигать гипотезы, объяснительные схемы этого процесса на основании весьма развитых и изящных построений теории СОК. Именно поэтому для нас столь важно уметь распознавать это явление.

Для обнаружения и анализа розового шума используется специфический математический и аналитический аппарат, специфические форматы представления данных.

Итак, розовый шум — это некоторый процесс. Самый простой формат представления процесса — график, выражающий изменение изучаемой характеристики (спады, подъемы, депрессии — в общем, события) во времени. В этом формате представления розовый шум, как упоминалось выше, похож на большие волны, по которым идет рябь, по этой ряби — другая рябь и т. д. (см. рис. 1, 8.)

Это хорошее интуитивное представление подсказывает нам, что розовый шум включает в себя множество масштабов: здесь каждое крупное событие (спад, подъем) включает в себя множество более мелких, а те, в свою очередь, — еще более мелкие. Это фрактальный процесс.

Но для точной — формальной — идентификации розового шума, как и любого другого физического явления, недостаточно лишь интуитивного виденья. Нужно провести спектральный анализ исследуемого процесса.

Для спектрального анализа используется математическая процедура, называемая «быстрое преобразование Фурье». Быстрое преобразование Фурье разлагает розовый шум (или запись любого другого процесса — сигнал) на ряд гармоник — составляющих сигналов с постоянной частотой и амплитудой. В результате мы можем знать, какая амплитуда какой частоте сопоставлена в данной гармонике.

В системе координат, где по оси x откладывается частота, а по оси y — амплитуда, можно одной точкой обозначить эти две характеристики гармоники. Если сигнал предельно прост (состоит только из колебания одной частоты и амплитуды), то в нашей системе координат будет только одна точка. Но розовый шум состоит из множества компонентов (гармоник), он сложен, поэтому на изображении (спектрограмме) будет множество точек.

Если мы имеем дело с розовым шумом, в нашей системе координат множество полученных точек выстроится в гиперболу (рис. 9Б). Точнее, в гиперболу выстроится линия степенного тренда этих точек, ведь отдельные точки, т. е. каждая конкретная гармоника, могут не подчиняться статистическому закону и отклоняться от него.

Гипербола, как известно, есть выражение обратной пропорциональности исследуемых характе-

ристик. В нашем случае розовый шум — это такой сигнал, который подчинен статистической закономерности «чем выше частота сигнала (т. е. больше число колебаний за единицу времени), тем меньше их амплитуда, и наоборот».

Однако, чтобы дать формальное определение розового шума, нужно учесть два нюанса, которые хорошо изложены в «Опусе $1/f$ » Р. Уфимцева: «В реальности, на спектрах сигналов по оси y принято отображать не амплитуду сигнала на определенной частоте, а *квадрат амплитуды*; и его называют *мощностью* сигнала на этой частоте... Очень часто спектры строят не в линейной шкале, а в логарифмической [и по оси x и по оси y]... Логарифмические шкалы позволяют в одном спектре сразу уложить большой диапазон частот и мощностей сигнала...»³⁵.

Дадим несколько пояснений относительно логарифмической шкалы. На привычной — линейной — шкале одно деление (отрезок шкалы) всегда равно некоторому неизменному количеству единиц (неважно: первое ли это деление, третье или пятое). На логарифмической шкале, если первое деление равно, например, единице, то второе деление равно десяти единицам, а третье деление — ста единицам и т. д. Обычно каждое последующее деление представляет на порядок (в десять раз) больше единиц, чем предыдущее деление.

Двойные (по двум осям) логарифмические координаты как бы сжимают пространство. Причем, чем дальше к краям, тем сильнее сжатие. Наша гипербола в таких координатах превращается в прямую линию (рис. 9).

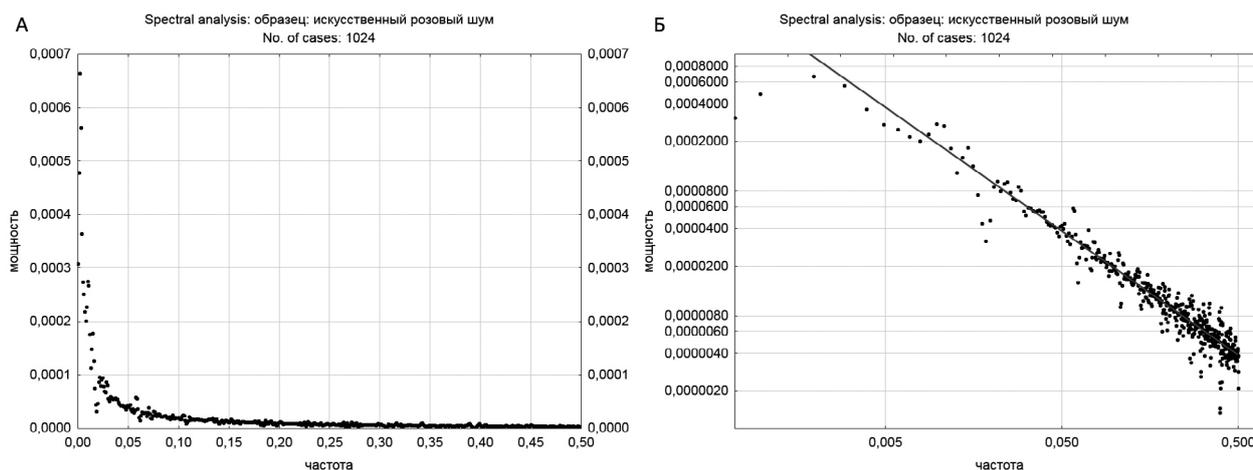


Рис. 9. Спектрограмма одного и того же образца искусственного розового шума в линейных координатах (А), в двойных логарифмических координатах (Б), результат работы Statistica

Примечание: серая прямая — степенная линия тренда

На спектрограмме на рисунке 9 по оси x — частота процесса (розовый шум — это, напомним, объединение множества частот). Далее эту величи-

ну мы по традиции будем обозначать как f . А по оси y — мощность, точнее, спектральная плотность (распределение) мощности. Мощность пропорцио-

нальна квадрату амплитуды. По оси y откладывает-ся квадрат амплитуды каждой гармоники. Обозначим мощность как S .

Важно именно наклон линии тренда в спектрограмме. Ведь именно от наклона зависит распределение мощности по частотам: если наклон не тот, то это будет уже не розовый шум. Например, мощности белого шума равномерно распределены по частотам, ведь это случайный процесс, поэтому здесь все гармоники имеют шанс быть одинаково «мощными». Соответственно, линия тренда белого шума представляет собой горизонтальную прямую.

Конечно, спектрограмма уже сама по себе является хорошим идентификатором розового шума, равно как и любого другого типа сигнала. Но есть еще и формула (1), которая определяет эту прямую и связывает величины f и S . Это обратная пропорциональность. Данная формула и является формальным определением розового шума:

$$S \sim \frac{1}{f^\alpha}. \quad (1)$$

Почему здесь не поставлен знак равно (а стоит знак «приблизительно»)? Эта формула показывает именно то, что мощность обратно пропорциональна частоте, если мы имеем дело с розовым шумом. Строго говоря, на определенной конкретной частоте мощность в разных сигналах, относящихся к типу «розовый шум», может быть весьма различной.

Здесь α («альфа») — показатель степени — есть некоторое число от 0 до бесконечности. От α зависит наклон прямой в спектрограмме. Если $\alpha = 0$, то прямая параллельна оси x , и такой сигнал считается белым шумом (абсолютно хаотическим сигналом). А если $\alpha = 2$, то прямая получается круче, чем у идеального розового шума, и такой шум считается коричневым. Если $\alpha = 1$, то мы имеем дело с идеальным розовым шумом (см. рис. 3, 4, 5.)

В каких пределах должен находиться показатель степени α , чтобы шум считался розовым?

Ш. М. Коган в статье «Фликкер-шум» в Физической энциклопедии указывает, что α «обычно находится в пределах от 0,8 до 1,2, может изменяться с температурой, но чаще всего близок к 1»³⁶. Конечно, это утверждение относится к физическим системам и не является нормативным, а обобщением наблюдений. П. Бак указывает: «Иногда спектр [1/ f -шума] имеет вид не $1/f$, а $1/fa$, где степень α может принимать значения от 0 до 2»³⁷.

Следовательно, в действительности розовый шум не имеет строгого общепринятого определения в части значения показателя степени. Какой же диапазон α нам считать удовлетворительным для атрибуции розового шума? Не имеет смысла размышлять, является ли шум розовым при $\alpha = 0,2$ или $0,4$.

«Розовый» — это всего лишь термин, имеющий функциональное эвристическое значение в рамках некоторой системы представлений и методов. Такой системой для нас является теория СОК. Значит, мы вполне можем пользоваться определением, данным в рамках этой теории П. Баком. А он фактически относит к розовому шуму широкий класс сигналов в пределах от белого до коричневого.

Как на практике проводится идентификация розового шума? Возьмем исследуемый процесс — ряд чисел, выражающих величины некоторой характеристики в упорядоченной последовательности равных хронологических отрезков. Исследуемый процесс должен содержать достаточное количество данных. Быстрое преобразование Фурье можно проделать и над небольшим количеством данных, но результаты вряд ли будут убедительно интерпретируемыми. Затем в SPSS или Statistica (или любой другой специальной программе) можно построить спектрограмму «частота/спектральная плотность мощности». До построения спектрограммы данные специальным образом подготавливаются. Полученная спектрограмма является по существу таблицей, в которой поставлены в соответствие частоты и мощности. Мы можем построить спектрограмму в графической форме в двойных логарифмических координатах.

Полученную спектрограмму уже можно оценить визуально. Обычно полезно построить степенную линию тренда. Линия тренда сверху-вниз слева-направо свидетельствует о возможном наличии розового шума. Визуальное изучение спектра хорошо подходит лишь для предварительного отбора исследуемых процессов и для презентации результатов. Формальная идентификация розового шума предполагает вычисление показателя степени α . В формуле (1) приравняем левую и правую части (при приравнивании возникает коэффициент ν , который выражает соотношение единиц S и f в конкретном рассматриваемом случае). Получим

$$S = \nu \frac{1}{f^\alpha}. \quad (2)$$

Если на спектрограмме мы видим четко выраженный тренд, близкий к прямой, наклоненной сверху слева вниз направо, то мы можем выдвинуть гипотезу, что каждая пара чисел f и S связана формулой (2). Нужно только найти в этой формуле константы ν и α . Эти величины мы можем легко обнаружить в автоматически рассчитываемой в Excel (в модуле построения диаграмм) формуле степенного тренда, которая совпадает с формулой (2). Но можем найти эти величины и «вручную», подобрав ν и α . Цель подбора — построить такую «эталонную» спектрограмму, которая совпала бы с некоторым «видимым» трендом реальной спектрограммы.

Как мы проверили наши аналитические процедуры?

Мы стремились убедиться в том, что принятая нами и описанная выше процедура обнаружения розового шума достаточно корректна. Поэтому мы провели проверку этой идентификационной процедуры, применив ее для образца, о котором заранее точно было известно, что это розовый шум. Для генерирования тестового образца («хорошего» искусственного розового шума) мы вос-

пользовались свободно распространяемым кодом `powernoise`³⁸, реализуемым в Matlab.

Для проверки мы использовали 200 точек данных — количество, сопоставимое с количеством позиций в наших исследуемых исторических данных. На рисунке 10 представлен результат описанных процедур формальной идентификации типа шума.

Мы нашли, что для тестового образца: $\alpha = 1,01$; $\nu = 0,0000014$; $R^2 = 0,702$. Для качественной ин-

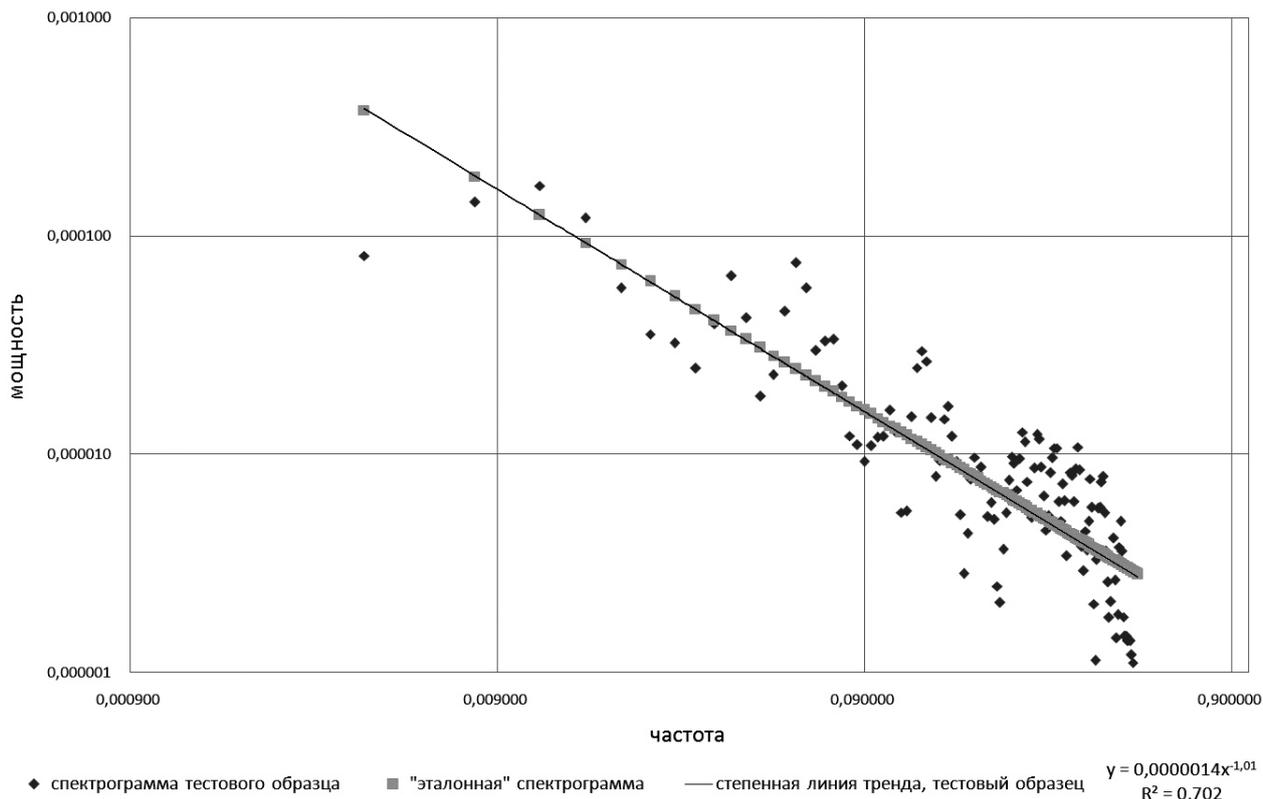


Рис. 10. Спектрограмма искусственного розового шума (тестовый образец, 200 точек данных), результат обработки в Excel

Примечание: слева внизу — формула для степенной линии тренда спектрограммы тестового образца и индекс R^2 для этой же линии.

терпретации результатов коэффициент ν не важен. Величина R^2 — стандартный инструмент, применяемый, в частности, в MS Excel для определения степени достоверности тренда. Чем ближе значение R^2 к единице, тем надежнее линия тренда аппроксимирует исследуемый процесс.

Такая величина α демонстрирует, что мы имеем дело с розовым шумом. Само по себе это не удивительно, поскольку мы изначально знали это и стремились лишь проверить наши инструменты. Более детально процедуры проведения спектрального анализа представлены в статье во *Fractal Simulation*³⁹.

Заметим также, что в этом виде спектрограмму (не только искусственного, но и любого естественного шума) можно лишь с некоторыми оговорками рассматривать как отображение имевших место в реальности гармоник: сама математическая процедура спектрального анализа обнаруживает гармоники, возможные математически, но не обязательно физически. Тем самым обозначается наличие некоторой статистической закономерности в данных, но, конечно, не утверждается, что эта закономерность «должна» полностью (даже в своих «экстремальных» вариациях) реализоваться в исторической действительности.

АНАЛИЗ

На данном этапе нашего исследования мы стремимся показать наличие фрактальных исторических процессов и возможность их интерпретировать в рамках теории самоорганизованной критичности. Поскольку $1/f$ -шум имеет вполне определенные численные характеристики, мы можем формально показать его наличие/отсутствие. Изначально мы ставили перед собой методологические задачи, чтобы продемонстрировать эффективность инструментария и аналитического аппарата теории. Для анализа мы выбрали некоторые историко-демографические процессы, которые достаточно обеспечены статистикой.

Мы использовали в качестве исходных данных сведения о рождениях и смертности в нескольких селах Тамбовской губернии / области. Данные све-

дения получены историками Тамбовского госуниверситета на основании длительного и масштабного изучения и обобщения первичных источников почти за двухсотлетний период⁴⁰. По большей части мы имели дело с данными, полученными из источников. Незначительные лакуны были восполнены данными, полученными в результате математической реконструкции. Исходные данные представлены в нашем сообщении⁴¹.

Конкретные объекты для представленного анализа подбирались «вслепую», не согласуясь с конечными результатами (мы выбирали те села, которые обеспечены длительной статистикой).

Характер исходных данных, комментарии, а также результаты спектрального анализа представлены в таблице. Спектрограммы (со степенными линиями тренда) представлены на рисунках 11–18.

Исходные данные и результаты спектрального анализа динамики некоторых историко-демографических процессов в селах Тамбовской губернии/области, XIX — начало XXI в.

Название села, процесс	Комментарий к исходным данным	R2	α	Комментарий к результатам
Малые Пупки, динамика рождаемости	Погодовые данные с 1810 по 1998 г. включительно, лакуны крайне незначительны.	0,784	1,27	Розовый шум (рис. 11)
Крюково, динамика рождаемости	Погодовые данные с 1815 по 1916 г. включительно, лакуны крайне незначительны.	0,468	0,64	Визуально розовый шум не очевиден (рис. 12), но формальный анализ показывает, что этот процесс можно считать розовым шумом
Пахотный угол, динамика рождаемости	Погодовые данные с 1810 по 2007 г. включительно; здесь имеются две большие лакуны с 1881 по 1908 г. и с 1918 по 1923 г. Мы дополнили недостающие данные математическими методами.	0,8	1,36	Розовый шум (рис. 13).
Сосновка, динамика смертности	Погодовые данные с 1919 по 2003 г. включительно, без лакун.	0,798	1,15	Розовый шум (рис. 14)
Пахотный Угол, динамика смертности	Погодовые данные с 1810 по 2007 г. включительно. Есть некоторые лакуны; мы дополнили недостающие данные математическими методами.	0,667	0,95	Розовый шум (рис. 15)
Раево, динамика смертности	Погодовые данные с 1811 по 1898 год включительно, практически без лакун (пропущен только один год).	0,278	0,47	Хотя формальный анализ позволяет считать этот процесс розовым шумом в некотором широком смысле ($\alpha = 0,48$), визуальный анализ спектрограммы (рис. 16) показывает, что мы имеем дело во многом со случайным процессом
Большая Липовица, динамика смертности	Погодовые данные с 1813 по 1908 г. включительно, лакуны крайне незначительны.	0,317	0,38	Розовый шум слабо выражен из-за хаотичного поведения процесса в нижней части спектрограммы (рис. 17)
Парский Угол, динамика смертности	Погодовые данные с 1935 по 2001 г. включительно, лакуны крайне незначительны.	0,585	1,03	Розовый шум (рис. 18)
тестовый образец розового шума	200 точек данных, полученных с помощью генератора искусственного розового шума <code>powernoise</code>	0,702	1,01	Розовый шум (рис. 10)

Примечание: α — показатель степени в формуле (1), ключевой формальный идентификатор розового шума; R^2 — степень достоверности тренда.

Вероятно, длина изученных временных рядов оказывает некоторое «давление» на результат. Чем больше данных, тем больше шансов обнаружить розовый шум, чем меньше данных, тем шум «белее», а значение α ближе к нулю. (Даже если весь процесс является розовым шумом, то его относительно краткие эпизоды могут казаться белым шумом — случайным процессом). Так, для анализа рождений в Крюкове данных почти в два раза меньше, чем для Малых Пупок (102 против 189). Логично, что и величина α для Крюково меньше единицы (напомним, что для белого шума $\alpha = 0$). И, тем не менее, даже по «коротким» в некоторых случаях временным рядам можно уверенно идентифицировать розовый шум. Низкий уровень достоверности проявился в тех случаях, где значения α близки к белому шуму. Другими словами, это те населенные пункты, где демографическое поведение во многом зависело от случайных природных факторов.

Но в большинстве случаев величина α (значительно больше нулевого значения) демонстрирует, что и рождаемость, и смертность в рассматриваемый период изменялись в режиме розового шума. Это подталкивает нас к мысли, что существуют некоторые фундаментальные причины для появления этого хорошо наблюдаемого эффекта.

С исторической точки это может означать, что популяции всех изученных сел находились на той или иной стадии демографического перехода. Другими словами, они заметно ушли от состояния белого шума (в данном случае — от случайных колебаний естественного движения населения, полностью зависящих от природы) и попали в зону розового шума, отражающую переходное состояние процесса, на который стал воздействовать антропогенный фактор.

Не случайно наиболее «удобными» для анализируемой выборки оказались данные о смертности (5 из 8 поселений). Как считают современные демографы, работающие с микроданными, первые признаки демографического перехода проявились в снижении смертности в российском аграрном обществе в конце XIX — начале XX в. под позитивным воздействием земской медицины⁴².

При этом наиболее близкими к 1 (идеальное значение α как показателя розового шума) оказались результаты спектрального анализа динамики смертности в тех населенных пунктах, по которым мы имеем данные XX в., когда успешно развивалась советская система сельского здравоохранения. Напротив, в тех селах, относительно которых мы располагаем данными только за XIX — начало XX в. (досоветский период), значение α было намного меньше единицы, что с точки зрения исторической демографии свидетельствует, в частности, о пока

слабом влиянии земской медицины на сокращение смертности сельского населения и о большой зависимости смертности от случайных колебаний природных факторов.

Примерно такая же тенденция выявляется и в динамике показателей рождаемости. Больше 1 значения α получились в тех случаях, когда анализировались длинные ряды данных с большой долей сведений XX в. Это может свидетельствовать о заметной роли регулирования рождаемости, которое в аграрных регионах России началось в 1920–1930-е гг. Наоборот, по с. Крюково мы располагаем данными только дореволюционного периода, когда контроля рождаемости у сельского населения почти не наблюдалось. Так что в этом случае дело было не только в относительно малом числе данных, но и в их временной исторической специфике.

Предложенную интерпретацию результатов спектрального анализа только 8 временных рядов микродемографических данных следует воспринимать как первый шаг в изучении историко-демографических процессов с позиций теории самоорганизованной критичности.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Эвристика: как мы строим гипотезы

В связи с предпринятым анализом возникает принципиальный вопрос: как именно сам факт обнаружения розового шума может помочь нам построить гипотезу, объяснить сущность изучаемых процессов или хотя бы намекнуть на их ключевые факторы?

Спектральный анализ применительно к нашим целям, конечно, не стоит считать способом прогнозировать конкретное событие в конкретном месте в конкретное время. Это инструмент создания гипотез. Спектральный анализ здесь указывает на наличие некоторой статистической закономерности, которая является проявлением собственно исторической закономерности. Розовый шум сам по себе — не управляющий фактор, а проявление, следствие некоторых управляющих факторов (некоего их существа и способа взаимодействия). Следовательно, мы не можем утверждать, что то или иное событие имело место потому, что это было «предписано розовым шумом». Розовый шум создает не историческую силу, а наше математическое ожидание, которое может реализоваться или не реализоваться в исторической реальности (точнее, в конкретном историческом исследовании).

Но обнаружив статистическую закономерность, которая, как мы знаем, является следствием некоторого типа физической закономерности, мы можем с твердым основанием и руководству-

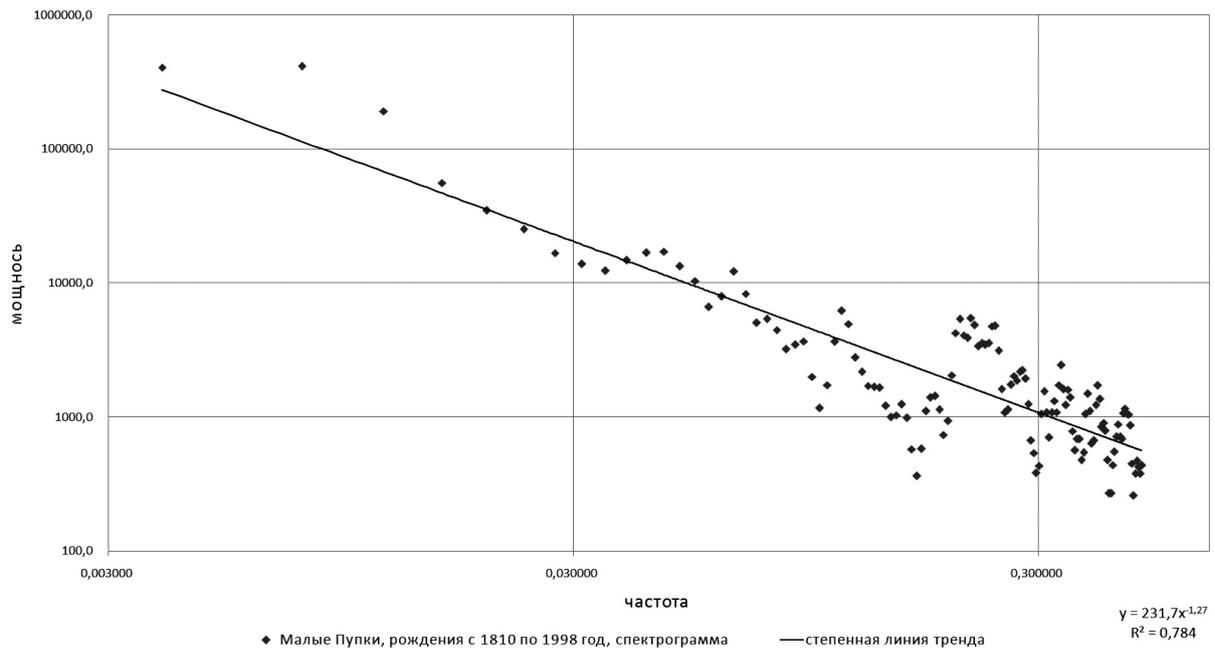


Рис. 11. Малые Пупки, рождения с 1810 по 1998 г. (спектрограмма)

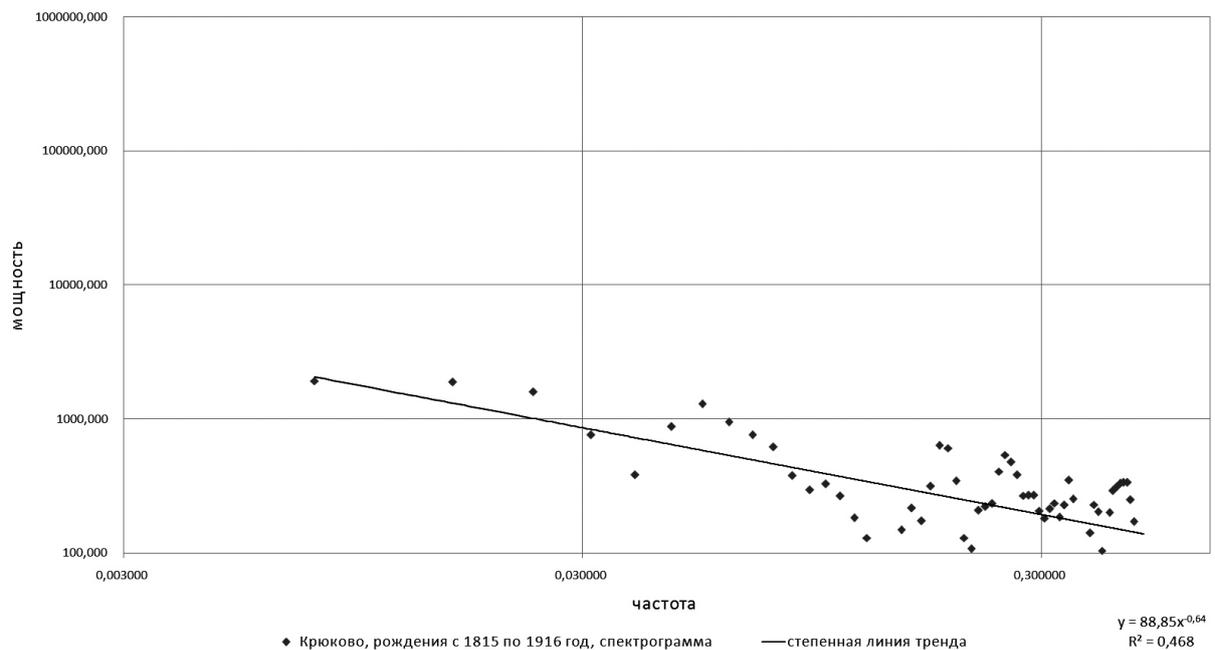


Рис. 12. Крюково, рождения с 1815 по 1916 г. (спектрограмма)

ясь накопленными в разных науках представлениями об этом типе закономерностей, формулировать конкретно-исторические гипотезы.

В литературе для интерпретации розового шума используется именно прием уподобления реальных систем искусственным сообществам и другим реальным системам (хорошо изученным системам, как правило, физическим). Обнаружение розового шума — это повод поискать в изучаемой

системе закономерность по аналогии со схожими известными закономерностями в физических системах. Мы обратили на это внимание в историографическом обзоре.

Это, конечно, допустимо в качестве эвристического поиска. Но более надежной логикой исследования мы считаем интерпретации через отсылки к объяснительным схемам самой теории СОК. (Конечно, эти объяснительные схемы сформули-

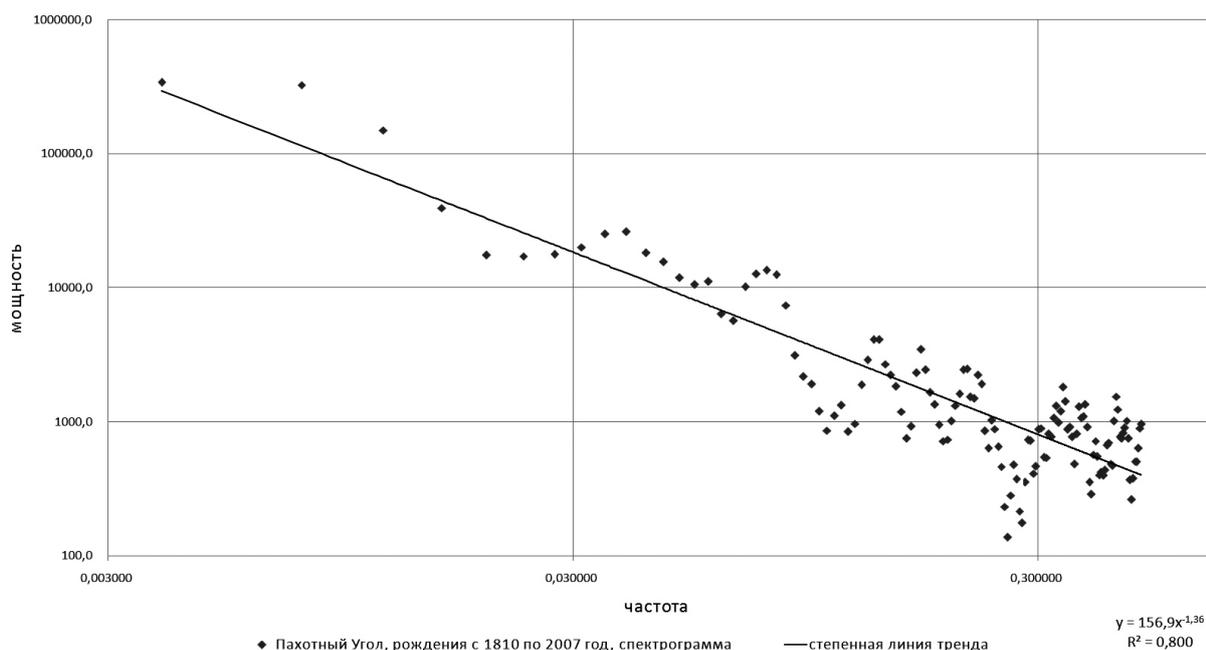


Рис. 13. Пахотный Угол, рождения с 1810 по 2007 г. (спектрограмма)

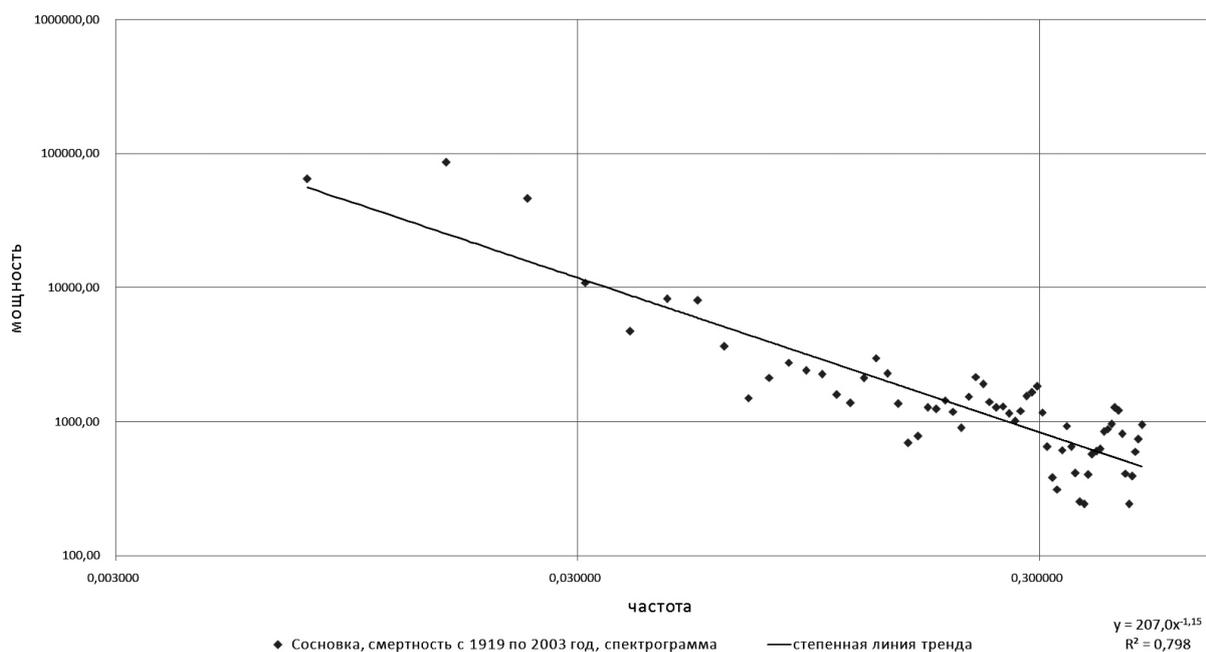


Рис. 14. Сосновка, смертность с 1919 по 2003 г. (спектрограмма)

рованы абстрактно. Но что же еще можно ожидать от теории, которая стремится объяснить в рамках одного аналитического и терминологического аппарата распределение землетрясений и электромагнитную активность головного мозга?). Эта абстрактность не позволяет многим исследователям разглядеть в объяснительных схемах конкретно-социальные реалии, объяснения, причины. Но мы убеждены, что они есть. Конечно, чтобы их обна-

ружить, нужен настоящий междисциплинарный диалог.

Заметим также, что на данном этапе предпринятый нами анализ позволяет выдвигать именно гипотезы — интерпретации данных процессов в духе теории СОК. Это является веским аргументом в пользу таких интерпретаций, однако напрямую не исключает иных объяснительных схем. Конечно, мерилем эффективности тех или иных

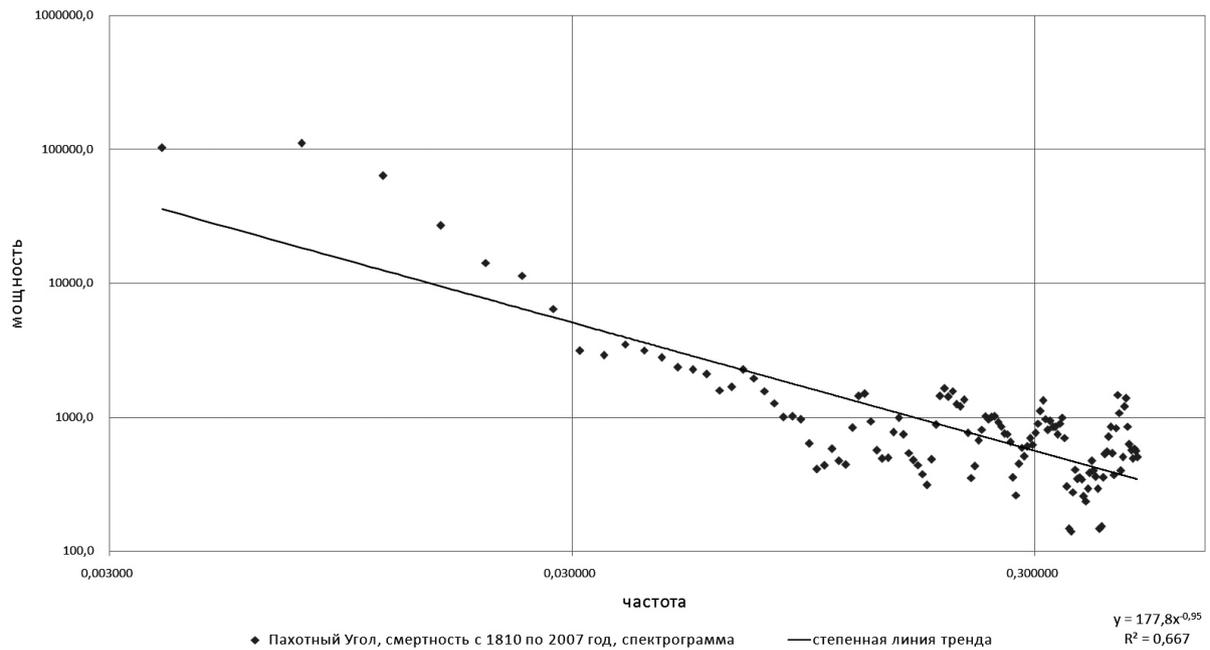


Рис. 15. Пахотный Угол, смертность с 1810 по 2007 г. (спектрограмма)

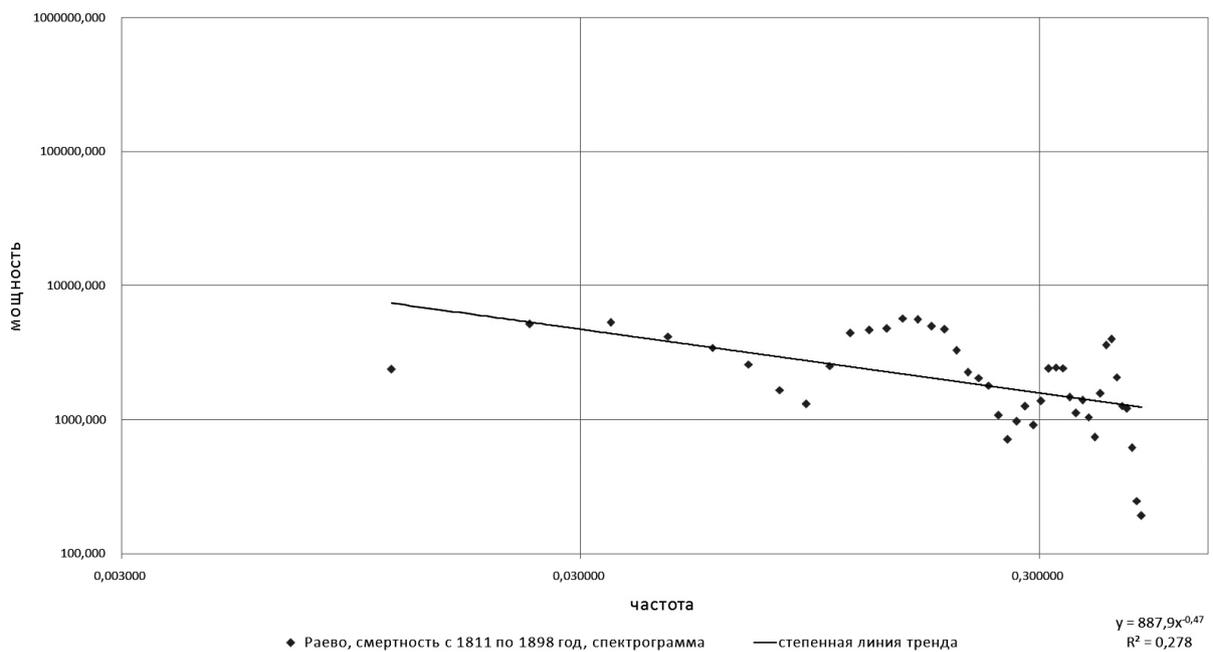


Рис. 16. Раево, смертность с 1811 по 1898 г. (спектрограмма)

интерпретаций является только их соответствие историческим данным.

ГИПОТЕЗЫ

Что касается конкретных гипотез, то на данном этапе мы, используя теорию СОК, стремимся обосновать для исследуемых истори-

ческих процессов следующие утверждения. Наш анализ демографических данных подтвердили существенно статистические наблюдения историков о цикличности естественного движения населения в аграрном обществе.

Но, с другой стороны, эксперименты показали, что «циклическая» динамика некоторых процессов не обязательно обусловлена влиянием некоего циклического внешнего или внутреннего фактора.

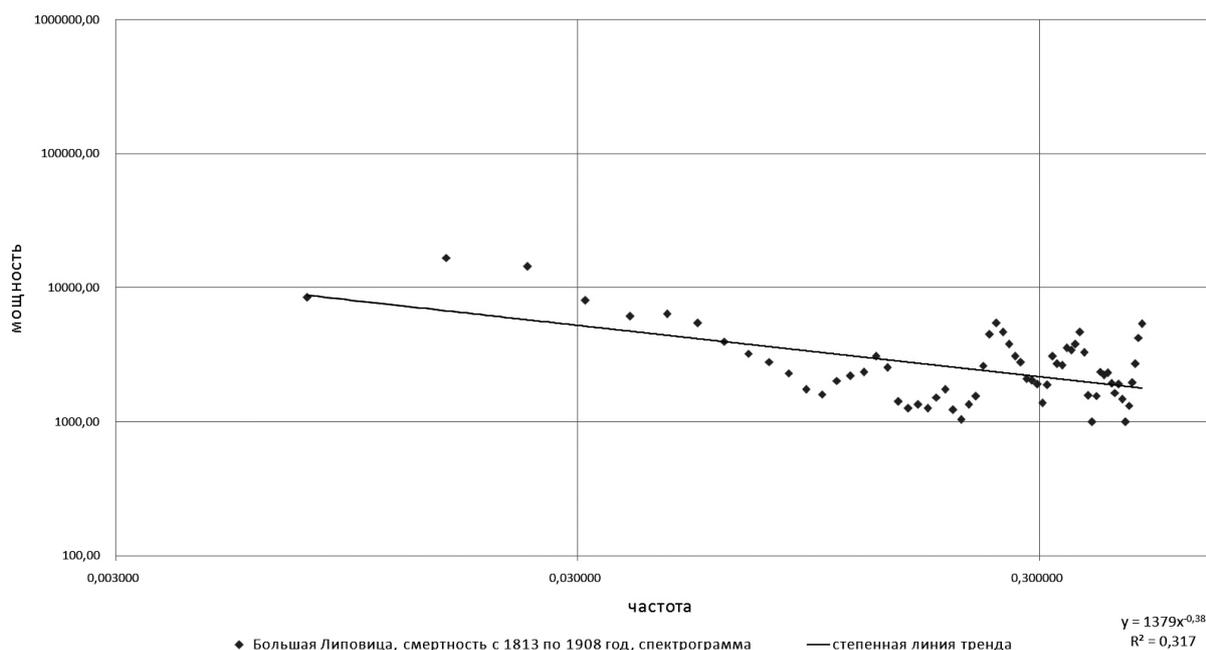


Рис. 17. Большая Липовица, смертность с 1813 по 1908 г. (спектрограмма)

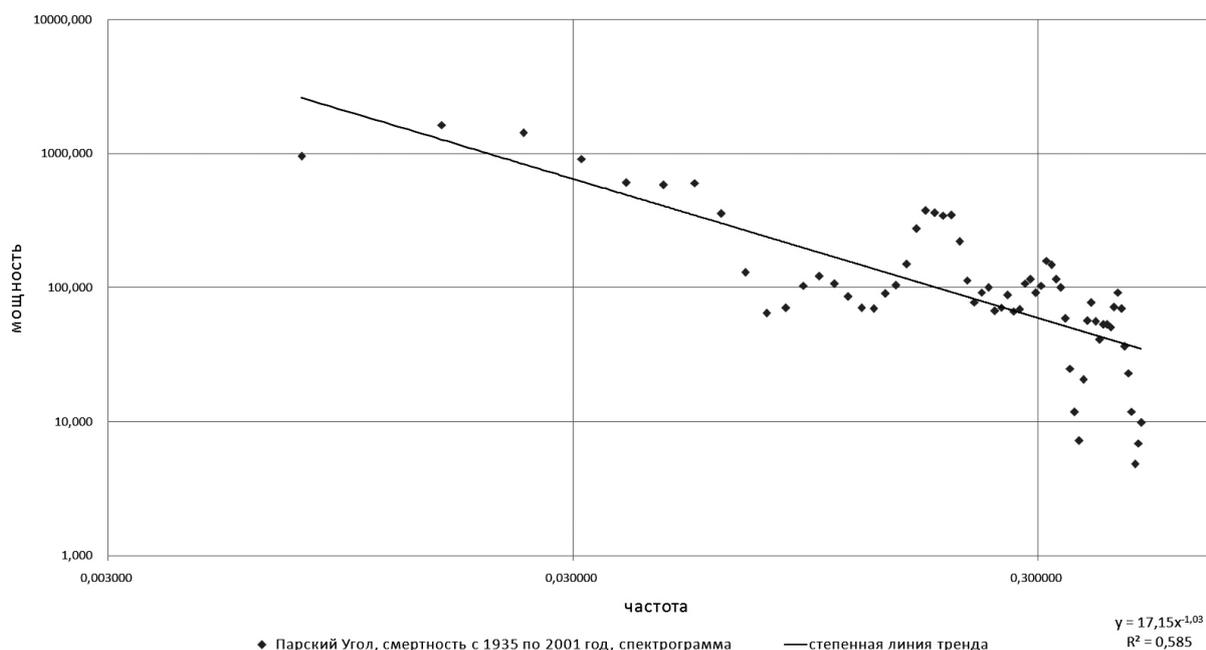


Рис. 18. Парский Угол, смертность с 1935 по 2001 г. (спектрограмма)

Мелкие и крупные спады и подъемы возникали буквально «сами собой» — это имманентное свойство системы, если системе свойственна самоорганизованная критичность.

Если мы видим, что фрактальный характер динамики системы обусловлен критичностью в духе П. Бака, то это дает основание полагать, что эта динамика вызвана сложной (многокомпонентной) структурой и наличием многочисленных обрат-

ных связей на микроуровне. Виртуальные эксперименты с моделью Бака — Снепена демонстрируют, как простые правила на микроуровне (включающие многочисленные взаимовлияния и обратную связь между факторами) генерируют сложное поведение на макроуровне, которое (поведение) описывается как прерывистая устойчивость. Именно множественность компонентов системы и наличие многих и петлеобразных связей между ними

заставляют систему демонстрировать критичность, не дают ей «забыть», погасить многочисленные импульсы, разорвать причинно-следственные цепочки. Критичность — состояние суперпозиции огромного множества изменений / огромного множества компонентов.

Применительно к конкретно-исторической составляющей данной статьи этот тезис означает, что в XIX–XX вв. на демографические процессы в российском аграрном обществе стали воздействовать не только «случайные» стихийно-природные факторы, но и многогранный антропогенный фактор. Однако теория самоорганизованной критичности обращает внимание историков на необходимость контактов с представителями естественных и точных наук в целях более точного объяснения множественности природных факторов, воздействующих на естественное движение населения.

Представления о прочной связке микроповедения акторов и макроповедения системы хорошо известны в естественных науках и постепенно распространяются и в истории. В частности, учет этого свойства самоорганизованной системы мог бы стать солидным основанием для установления «баланса» в дискуссии тамбовских историков

с Б. Н. Мироновым на тему «Можно ли увидеть Россию из Малых Пупков?»⁴³.

Если соотношение микро- и макропроцессов как-то учитывается историками, то другой эффект СОК — критичность — пока не вошел широко в исторический дискурс.

Приложение теории СОК к изучению исторических процессах обладает, как нам представляется, большим эвристическим потенциалом. Дж. Гараедаги отмечал: «Новая концепция времени [в теории хаоса] позволяет осознать, что в действительности время определяется не стрелками часов, а ритмами и итерациями (повторениями)»⁴⁴. Полагаем, подобные исследования смогут содействовать развитию представлений об истоках и закономерностях разнообразных циклических явлений и скоротечных социальных трансформаций, а также смогут разъяснить ряд вопросов о несоответственности причин и следствий в процессе таких трансформаций и о связи микроуровневых правил поведения историко-социальных систем с их макроуровневой динамикой. В данной работе мы рассмотрели в качестве объекта лишь некоторые историко-демографические процессы, но уверены, что эффекты СОК можно обнаружить и в других исторических феноменах.

ПРИМЕЧАНИЯ

- ¹ Bak P., Tang C., Wiesenfeld K. Self-organized criticality // *Phys. Rev. A*. 1988. Vol. 38. № 1. P. 364–374.
- ² Ibid.
- ³ Бак П. Как работает природа: теория самоорганизованной критичности. М., 2013. С. 68–69.
- ⁴ Там же. С. 68.
- ⁵ Малинецкий Г.Г. Чудо самоорганизованной критичности // Бак Пер. Как работает природа: теория самоорганизованной критичности. М., 2014. С. 31–32.
- ⁶ Mandelbrot B. B. *The Fractal Geometry of Nature*. New York, 1982; Frame M. L., Mandelbrot B. B. *Fractals, Graphics and Mathematical Education*. Washington, 2002; Мандельброт Б. Фрактальная геометрия Природы. М., 2002; Schroeder M. *Fractals, Chaos, Power Laws: Minutes from an Infinite Paradise*. New York, 1991; Федер Е. Фракталы. М., 1991; Кроновер Р.М. Фракталы и хаос в динамических системах. М., 2000; Шибков А.А., Желтов М.А., Михлик Д.В., Золотов А.Е. Физика и геометрия фракталов. Тамбов, 2011; Божокин С.В., Паршин Д.А. Фракталы и мультифракталы. М., 2001; Морозов А.Д. Введение в теорию фракталов. Москва; Ижевск, 2002.
- ⁷ Бак П. Как работает природа... С. 214.
- ⁸ Там же. С. 76.
- ⁹ Там же. С. 188, 74–75.
- ¹⁰ Eidelson R. J. Complex adaptive systems in the behavioral and social sciences // *Review of General Psychology*. 1997. Vol. 1. № 1. P. 42–71; De Florio V., Bakhouya M., Coronato A., Di Marzo, G. Models and Concepts for Socio-Technical Complex Systems: Towards Fractal Social Organizations // *Systems Research and Behavioral Science*. 2013. Vol. 30. № 6. P. 750–772; Clauset A., Shalizi C., Newman M. Power-Law Distributions in Empirical Data // *SIAM Rev.* 2009. Vol. 51. № 4. Pp. 661–703; Frigg R. Self-organised criticality — what it is and what it isn't // *Studies in History and Philosophy of Science Part A*. 2003. Vol. 34. № 3. Pp. 613–632; Andergassen R., Nardini F., Ricottilli M. Innovation Waves, Self-organized Criticality and Technological Convergence // *Journal of Economic Behavior & Organization*. 2006.

- Vol. 61. № 4. P. 710–728; Holling C. S. Understanding the Complexity of Economic, Ecological and Social Systems // *Ecosystems*. 2001. Vol. 4. № 5. P. 390–405.
- ¹¹ Turcotte D. L., Rundle J. B. Self-organized complexity in the physical, biological, and social sciences // *PNAS*. 2002. Vol. 99. № 1. P. 2463–2465; Buchanan M. Ubiquity. The Science of History... or Why the World is Simpler Than We Think. London: Weidenfeld & Nicolson, 2000; Pinto C. M. A., Mendes Lopes A., Machado J. A. T. A review of power laws in real life phenomena // *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*. 2012. Vol. 17. № 9. P. 3558–3578; Mathews M. K., White M. C., Long R. G. Why Study the Complexity Sciences in the Social Sciences? // *Human Relations*. 1999. Vol. 52. № 4. P. 439–462; Guastello S. J. Chaos, Catastrophe, and Human Affairs: Applications of Nonlinear Dynamics To Work, Organizations, and Social Evolution. Abingdon, 2013.
- ¹² Griffin A. F. Emergence of Fusion/Fission Cycling and Self-Organized Criticality from a Simulation Model of Early Complex Polities // *Journal of Archaeological Science*. 2011. Vol. 38. № 4. P. 873–883.
- ¹³ Бородин Л. И. Методология анализа неустойчивых состояний в политико-исторических процессах // *Международные процессы*. 2005. Т. 3, № 7.
- ¹⁴ Бородин Л. И. «Порядок из хаоса»: концепции синергетики в методологии исторических исследований // *Новая и новейшая история*. 2003. № 2; Бородин Л. И. Методология анализа неустойчивых состояний в политико-исторических процессах...; Бородин Л. И. Концепции синергетики в исследованиях неустойчивых исторических процессов: современные дискуссии // *Информационный бюллетень ассоциации «История и компьютер»*. 2008. № 35; Zhukov D. S., Kanishchev V. V., Lyamin S. K. Fractal Modeling of Historical Demographic Processes // *Historical Social Research*. 2013. Vol. 38. № 2. P. 271–287; 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. № 1. P. 43–58; Головашина О. В., Жуков Д. С. Нелинейные эффекты динамики социально-политических институтов // *Ineternum*. 2012. № 2; Жуков Д. С., Канищев В. В., Лямин С. К. Фрактальное моделирование демографических процессов в российском аграрном социуме (1926–1939 гг.) // *Fractal simulation*. 2012. № 1. С. 33–60; Насонов А. Н., Сметанин В. И. Топологическое моделирование природно-техногенных систем // *Природообустройство*. 2013. № 1. С. 11–16; Сморгун Л. В. Сложность в политике: некоторые методологические направления исследований // *Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 6: Философия. Культурология. Политология. Право. Международные отношения*. 2012. № 4. С. 90–101; Petukhov A. Y. Branched Chain Reaction in Complex Social Systems // *Fractal simulation (English ed.)*. 2013. № 1. P. 20–28; Ledyayev V., Chirickova A., Seltser D. Who governs? Power in the local Russian community // *Journal of Political Power*. 2014. Vol. 7. № 2. P. 211–231.
- ¹⁵ Borodkin L., Granwill B., Leonard C. L. The Rural/Urban Wage Gap in the Industrialisation of Russia, 1884–1910 // *European Review of Economic History*. 2008. Vol. 12. P. 67–96; Turchin P., Nefedov S. A. *Secular Cycles*. Princeton, 2009; Алексеев В. В., Бородин 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. С. 37–47; Ахременко А. С. Динамический подход к математическому моделированию политической стабильности // *Полис*. 2009. № 3; Бородин Л. И., Владимиров В. Н., Гарскова И. М. Институционализация исторической информатики: к 20-летию АИК // *Информационный бюллетень ассоциации «История и компьютер»*. № 39. 2012. С. 3–7; Гагарина Д. А. Моделирование в истории: подходы, методы, исследования // *Вестник Пермского университета. Серия: Математика. Механика. Информатика*. 2009. № 7. С. 26–33; Гагарина Д. А., Кирьянов И. К., Корниенко С. И. Историко-ориентированные информационные системы: опыт реализации «пермских» проектов // *Вестник Пермского университета. Серия: История*. 2011. № 2. С. 35–39; Гарскова И. М. Основные направления развития исторической информатики в конце XX — начале XXI в. // *Вестник Московского университета. Серия 8: История*. 2010. № 6. С. 75–103; Гринин Л. Е., Коротаев А. В., Марков А. В. Макроэволюция в живой природе и обществе. М., 2008; Зудов Н. Е. Исследования социополитических феноменов средствами компьютерного моделирования в ЦФМ: некоторые результаты и перспективы // *Fractal Simulation*. 2012. № 2. С. 6–10; Малков А. С., Малинецкий Г. Г., Чернавский Д. С. Математические модели исторических процессов: мечта или реальность? // *Информационные войны*. 2009. № 1. С. 54–61; Миронов Б. Н. Благополучие населения и революции в имперской России XVIII — начала XX века. М., 2010; Миронов Б. Н. Социальная история России периода империи (XVIII — начало XX в.). СПб., 2003; Нефёдов С. А. Демографически-структурный анализ социально-экономической истории России. Екатеринбург, 2005; Оськин А. Ф. Фрактальный анализ кризисов в социальных системах // *Информационный бюллетень Ассоциации «История и компьютер»*.

- №42. 2014. С. 81–82; Оськин А. Ф., Каменецкий Е. С. Blackbox — среда для компьютерного моделирования исторических процессов // Информационный бюллетень Ассоциации «История и компьютер». № 36. 2010. С. 107–108.
- ¹⁶ Sneppen K., Bak P., Flyvbjerg H., Jensen M. H. Evolution as a self-organized critical phenomenon // Proceedings of the National Academy of Sciences. 1995. Vol. 92. № 11. P. 5209–5213.
- ¹⁷ Облачный сервис, реализующий модель Бака — Снеппена, доступен на сайте Центра моделирования живых систем в Институте Нильса Бора Копенгагенского университета (глава Центра — К. Снеппен) [Электронный ресурс]. URL: <http://cmol.nbi.dk/>
- ¹⁸ Бак П. Как работает природа... С. 184.
- ¹⁹ Turcotte D. L. Self-organized criticality // Reports on Progress in Physics. 1999. Vol. 62. № 10. P. 1377; Weisbuch G., Solomon S., Stauffer D. Social Percolators and Self Organized Criticality // Economics with Heterogeneous Interacting Agents Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems. Ed. by A. Kirman, J.-B. Zimmermann. Berlin, 2001. P. 43–55.
- ²⁰ Turcotte D. L. Self-organized criticality // Reports on Progress in Physics. 1999. Vol. 62. № 10. P. 1377; Turcotte D. L., Rundle J. B. Self-organized complexity in the physical, biological, and social sciences // PNAS. 2002. Vol. 99. № 1. P. 2463–2465.
- ²¹ Buchanan M. Ubiquity. The Science of History... or Why the World is Simpler Than We Think. London, 2000.
- ²² Малинецкий Г. Г. Указ. соч. С. 39.
- ²³ Brunk G. G. Why Do Societies Collapse? A Theory Based on Self-Organized Criticality // Journal of Theoretical Politics. April. 2002. Vol. 14. N. 2. P. 195–230; Brunk G. G. Self-Organized Criticality: A New Theory of Political Behaviour and Some of Its Implications // British Journal of Political Science. Vol. 31. Issue 2. April 2001. P. 427–445; Brunk G. G. Why Are So Many Important Events Unpredictable? Self-Organized Criticality as the “Engine of History” // Japanese Journal of Political Science. Vol. 3. Issue 1. May 2002. P. 25–44; Brunk G. G. Understanding self-organized criticality as a statistical process // Complexity. 2000. Vol. 5. № 3. P. 26–33.
- ²⁴ Brunk Gregory G. Why Do Societies Collapse? A Theory Based on Self-Organized Criticality // Journal of Theoretical Politics. April. 2002. Vol. 14. № 2. P. 195–230.
- ²⁵ Brunk Gregory G. Why Are So Many Important Events Unpredictable? Self-Organized Criticality as the “Engine of History” // Japanese Journal of Political Science. Vol. 3. Issue 1. May 2002. P. 25–44.
- ²⁶ Roberts D. C., Turcotte D. L. Fractality and Self-Organized Criticality of Wars // Fractals. 1998. Vol. 6. № 4. P. 351–358.
- ²⁷ Roberts D. C., Turcotte D. L. Fractality and Self-Organized Criticality of Wars // Fractals. 1998. Vol. 6. № 4. P. 357.
- ²⁸ Biggs M. Strikes as Forest Fires: Chicago and Paris in the Late Nineteenth Century // American Journal of Sociology. 2005. Vol. 110. № 6. P. 1684–1714.
- ²⁹ Cederman L.-E. Modeling the Size of Wars: From Billiard Balls to Sandpiles // American Political Science Review. 2003. № 1. P. 135–150.
- ³⁰ Ibid P. 135.
- ³¹ Richardson L. F. Statistics of Deadly Quarells. Pittsburgh, 1960.
- ³² Picoli S., Castillo-Mussot M. del, Ribeiro H. V., Lenzi E. K., Mendes R. S. Universal bursty behaviour in human violent conflicts // Sci. Rep. 2014. Vol. 4. P. 1–3.
- ³³ Picoli S., Castillo-Mussot M. del, Ribeiro H. V., Lenzi E. K., Mendes R. S. Universal bursty behaviour in human violent conflicts // Sci. Rep. 2014. Vol. 4. P. 3.
- ³⁴ Kron T., Grund T. Society as a Self-Organized Critical System // Cybernetics & Human Knowing. 2009. Vol. 16. № 1–2. P. 65–82.
- ³⁵ Уфимцев Р. Опус 1 / f // Сайт Ателье ER [Электронный ресурс]. URL: http://www.metaphor.ru/er/misc/1f_noise.xml (дата доступа: 21.10.2014).
- ³⁶ Физическая энциклопедия: в 5 т. / под ред. А. М. Прохорова и др. М., 1988.
- ³⁷ Бак Пер. Как работает природа... С. 69.
- ³⁸ Little M. A., McSharry P. E., Roberts S. J., Costello D. A. E., Moroz I. M. Exploiting Nonlinear Recurrence and Fractal Scaling Properties for Voice Disorder Detection, BioMedical Engineering OnLine. 2007. Vol. 6. P. 23.
- ³⁹ Статья во Fractal Simulation (2014. № 1) доступна в виде препринта на сайте Центра фрактального моделирования [Электронный ресурс]. URL: <http://ineternum.ru/fs-preprint/>

-
- ⁴⁰ Артемов А. А., Дьячков В. Л., Канищев В. В. Длинные ряды демографических данных: поиск оптимальных методов математической обработки и визуального представления // Информационный бюллетень Ассоциации «История и компьютер». № 36. 2010. С. 58–60; Дьячков В. Л., Канищев В. В. Прогноз роста населения России на XX в. и состоявшаяся реальность. Взгляд «снизу» из тамбовской крестьянской среды // Ineternum. 2011. № 1. С. 56–74; Кончаков Р. Б. Демографическое поведение крестьянства Тамбовской губернии в XIX — начале XX в., новые методы исследования: дис. ... канд. ист. наук. Тамбов, 2001.
- ⁴¹ Сообщение во Fractal Simulation (2014. № 1) доступно в виде препринта на сайте Центра фрактального моделирования [Электронный ресурс]. URL: <http://ineternum.ru/fs-preprint/>
- ⁴² Дьячков В. Л. Деревня, город, государство и российские революции // Взаимодействие государства и общества в контексте модернизации России. Конец XIX — начало XX в. Тамбов, 2001. С. 43–53; Dyachkov V. L., Kanishchev V. V. Spatial changes of social-demographic processes and structures in Russian provincial pre-revolutionary centre, 1800–1917 (Tambov city case) // The International Conference Descripio. Urbis-Rome, 2008.
- ⁴³ Миронов Б. Н. Можно ли увидеть всю Россию из Малых Пупков? // Круг идей: Алгоритмы и технологии исторической информатики / под ред. Л. И. Бородкина, В. Н. Владимировой. М.; Барнаул, 2005. С. 528–543; Дьячков В. Л., Канищев В. В. Послание Б. Н. Миронову о сущности работы отдельных провинциальных историков, или Ответ ученому соседу // Круг идей: Алгоритмы и технологии исторической информатики / под ред. Л. И. Бородкина, В. Н. Владимировой. М.; Барнаул, 2005. С. 544–577; Миронов Б. Н. Нет, не увидеть всю Россию из Малых Пупков! // Круг идей: Алгоритмы и технологии исторической информатики / под ред. Л. И. Бородкина, В. Н. Владимировой. М.; Барнаул, 2005. С. 578–592.
- ⁴⁴ Гараедаги Дж. Системное мышление: Как управлять хаосом и сложными процессами: Платформа для моделирования архитектуры бизнеса. Минск, 2010. С. 87.
-