МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСТОРИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

MODELLING OF HISTORICAL PROCESSES

ОПЫТ ИЗУЧЕНИЯ ИСТОРИИ РОССИЙСКОГО ХЛЕБНОГО РЫНКА СРЕДСТВАМИ ТЕОРИИ САМООРГАНИЗОВАННОЙ КРИТИЧНОСТИ*

THE EXPERIENCE OF STUDY OF THE RUSSIAN GRAIN MARKET BY MEANS OF THE SELF-ORGANIZED CRITICALITY THEORY

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

Мизис Юрий Александрович,
доктор исторических наук, профессор Тамбовского государственного университета им. Г. Р. Державина
E-mail: ymizis49@yandex.ru

Yuriy A. Misis

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

Статья демонстрирует эвристические возможности теории самоорганизованной критичности (СОК) для изучения исторических процессов. С привлечением методов теории СОК исследовано развитие рынка зерна в России в XVIII — начале XX в. Выдвинута и обоснована гипотеза о том, что возникновение розового шума в рядах исторических данных может индикатировать формирование единого рынка и изменение роли государства как регулятора рынка. Предложены новые методы расчета количественной динамики этих трансформаций.

Ключевые слова: самоорганизованная критичность, розовый шум, история.

The article presents heuristic opportunities of the self-organized criticality theory (SOC) for studying historical processes. By applying SOC theory the development of the grain market in Russia in 18th — early 20th centuries was examined. The hypothesis that was made and proved is that emergence of the pink noise may indicate the integrated market formation and changes in the state participation as a market regulator. New methods to calculate quantitative dynamics of these transformations are offered.

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

ПРОБЛЕМА И ЗАДАЧИ

Мы стремимся продемонстрировать подходы и инструментарий теории самоорганизованной критичности (СОК), а также ее эвристический потенциал для изучения социально-исторических процессов. В качестве конкретного объекта выбрано развитие рынка зерна в России в XVIII — начале XX в.

Мы предположили, что возникновение розового шума в динамике цен на зерно может индикатировать формирование единого рынка и изменение роли государства как регулятора рынка. Кроме того, мы попытались проверить на историческом материале новые методы, разработанные нами для выявления количественной динамики некоторых социальных феноменов.

Впервые розовый шум в ценовой динамике обнаружил Бенуа Мандельброт — создатель фрактальной геометрии. Он исследовал хлопковые цены в США более чем за столетие и показал, что их колебания имеют фрактальный характер[1].

Механизмы возникновения розового шума как универсального явления (свойственного в том числе и динамике рынков) объяснил Пер Бак и его коллеги в рамках теории самоорганизованной критичности. В экономических исследованиях множество раз было показано, что динамика цен на современных рынках является во многих случаях именно розовым шумом. Рынок — это объект, который практически идеально подходит под описание системы, которая способна демонстрировать поведение в режиме розового шума.

В историографии известны разногласия относительно датировки возникновения единого хлебного рынка в России, возникшие между Б. Н. Мироновым, с одной стороны, и, с другой стороны, И. Д. Ковальченко и Л. В. Миловым.

И. Д. Ковальченко и Л. В. Милов сделали вывод о довольно позднем формировании общероссийского хлебного рынка: «Период с середины XVIII века до реформы 1861 года (с точки зрения эволюции единого рынка) представлял собой ту стадию, когда его развитие не могло идти далее той или иной комбинации рынков региональных… Можно считать, [что единый аграрный рынок] сложился к 80-м годам XIX века»[2]. Б. Н. Миронов делает несколько иное заключение: «В течение XVIII — начала XX в. [имела место] типичная модель товарно-денежного производства [взаимодействия хлебных цен и их факторов], основанная на экономических законах спроса и предложения, возмещения затрат труда и капитала и получения дохода. Отсюда следует, что принципы товарного производства проникли в российскую экономику задолго до реформ 1860-х гг. и что пореформенный прогресс экономики страны являлся закономерным и естественным продолжением ее дореформенного развития, хотя и на новом качественном уровне. <…> Генеральная линия социально-экономической эволюции России XVIII — начала XX в. — на протяжении более чем двухсотлетнего периода — оставалась неизменной и состояла в быстром развитии товарно-денежных отношений, капитализма, в повышении роли рынка как регулятора производства»[3].

Мы можем использовать факт обнаружения розового шума в динамике зерновых цен в качестве индикатора формирования единого рынка с его классическими механизмами ценообразования. Кроме того, мы можем попытаться отследить время появления розового шума в рядах данных. Используя эти методы, мы стремились внести некоторое (конечно, далеко не решающее) добавление в представленную выше историографическую дискуссию.

ПОДХОДЫ

В ряде наших статей (в том числе и в данном периодическом издании) мы рассмотрели некоторые ключевые положения и инструменты теории СОК, а также историографическую ситуацию[4], но необходимость представить методологию данного конкретного исследования вынуждает нас вернуться в сжатом виде к изложению методов и подходов этой теории.

Пер Бак и коллеги[5] ввели понятие «самоорганизованная критичность» для обозначения некоторого универсального поведения весьма разных систем. Атрибутом такого поведения является изменение ключевых характеристик системы в режиме розового шума (1/f-шума, фликкер-шума). Динамика многих систем в природе представляет собой розовый шум. На роль основного объяснения розового шума и претендует теория СОК. Розовый шум (например, на рис. 3А) — это своего рода фрактальная волна, по поверхности которой идет рябь. Можно сказать, что теория СОК — это «родная сестра» фрактальной геометрии, интегрировавшая многие представления Б. Мандельброта и последователей[6]. Для розового шума свойственна масштабная инвариантность (самоподобие) — совмещение в одном процессе событий всех масштабов: маленьких всплесков, средних волн, грандиозных цунами.

Розовый шум возникает в многокомпонентных сложных системах, где есть обратные связи, случайные события и слабые внешние воздействия. П. Бак показывает, что такие системы способны практически самопроизвольно (в результате слабого начального воздействия) генерировать критичность.

Состояние критичности подразумевает, что любое возникшее в системе событие (даже кратковременное и низкоэнергетическое) имеет не только локальные, но и глобальные для всей системы последствия. Изменения, возникшие в какой-либо одной части системы, не локализуются, не затухают, а воздействуют на всю систему, вызывая многообразные причинно-следственные цепочки. Ансамбль подобных событий и их последствий является генератором колебаний разных масштабов — розового шума. Это, в частности, практически идеальное описание саморегулирующегося рынка.

Состояние критичности, как правило, ведёт систему к скоротечному кризису (к скачкообразной трансформации — «лавине»). В некоторый момент вялотекущие изменения резко уходят в бесконечность, происходит разбалансировка основных параметров системы. Так, микроуровневые события генерируют макроуровневую динамику. Розовый шум является предвестником катастрофы. Хотя во множестве известны реальные системы, которые способны (благодаря некоторым механизмам поддержания гомеостазиса) издавать розовый шум бесконечно долго, т. е. пребывать в норме в состоянии, близком к срыву в критическое «пике».

Розовый шум — это проявление во времени некоторого степенного закона. В ряде явлений обнаруживается обратно пропорциональная зависимость между свойствами объектов (или событий). Например, в соответствии со степенным законом Гутенберга-Рихтера сильных землетрясений происходит мало, средней силы — среднее количество, а слабых — много.

Сравним розовый шум с двумя другими типами процессов (сигналов) — с белым и коричневым шумами, образцы и спектрограммы которых представлены на рисунках 1–3.

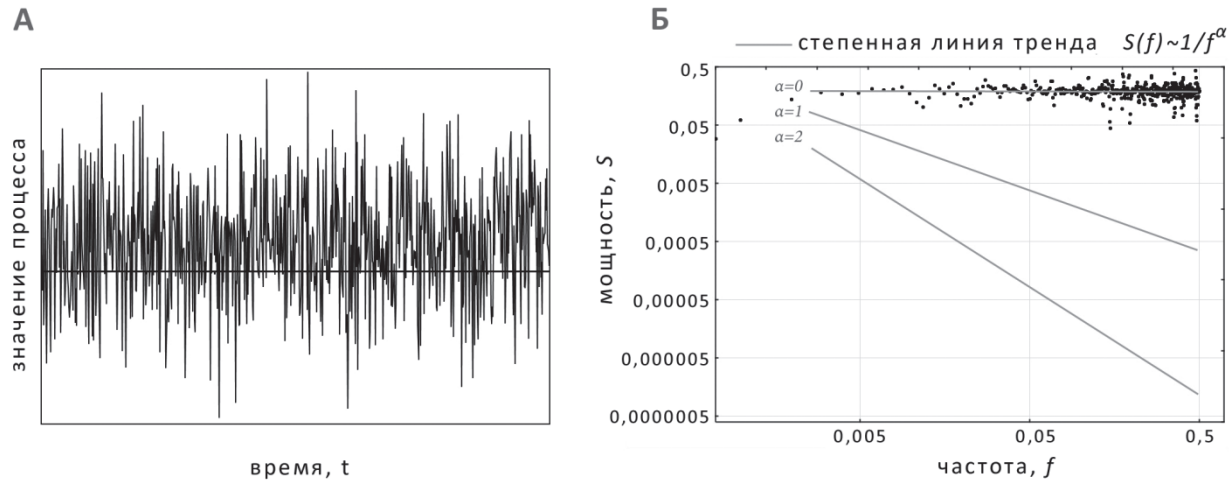

Рис. 1. Образец (А) и спектрограмма (Б) белого шума

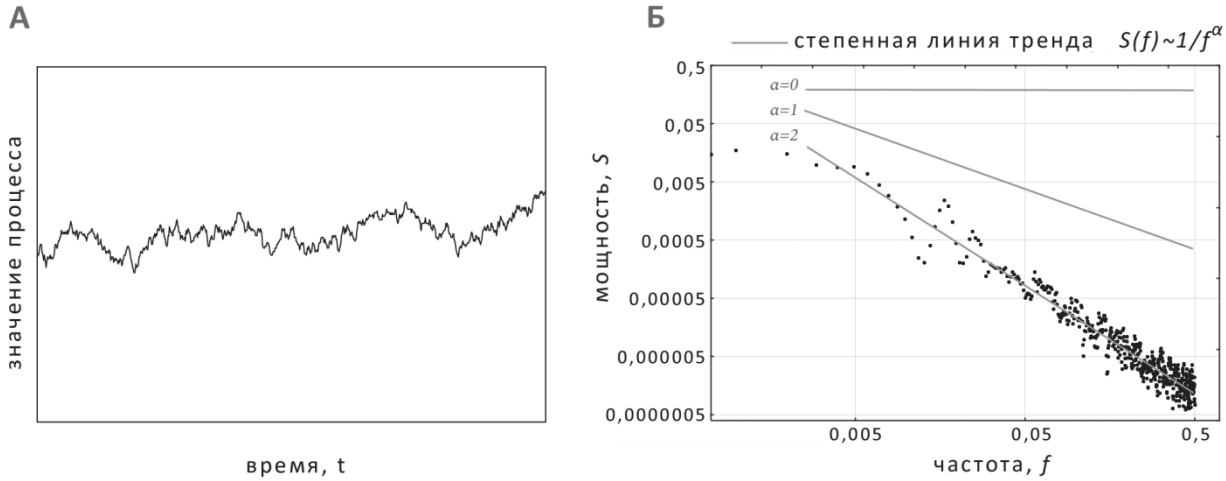

Рис. 2. Образец (А) и спектрограмма (Б) коричневого шума

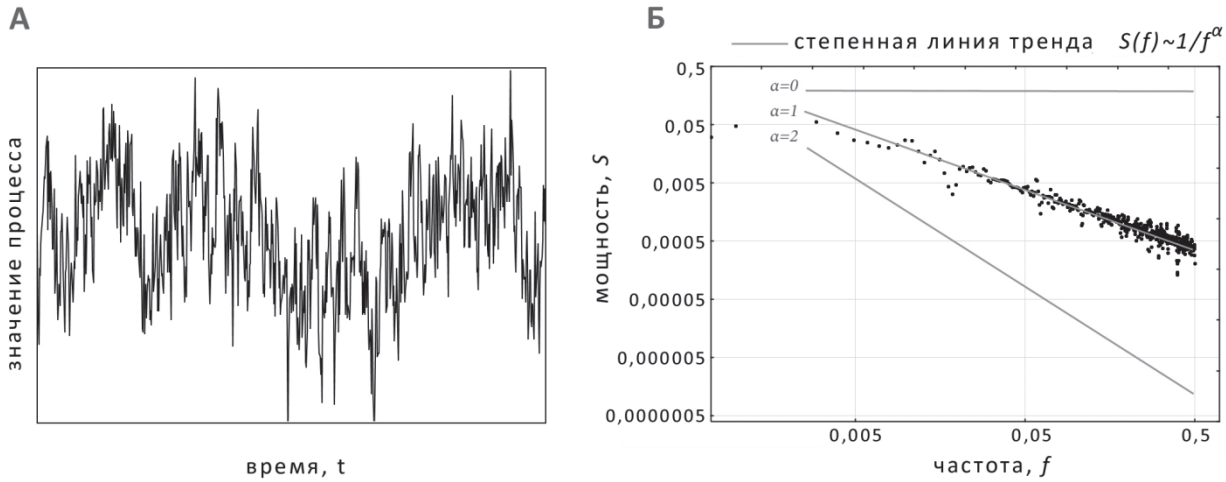

Рис. 3. Образец (А) и спектрограмма (Б) розового шума

Белый шум (см. рис. 1А) — это абсолютный хаос. В нем нет никакой закономерности: все значения/события процесса случайны и не зависят никаким образом от предыдущих значений/событий (т. е. этот процесс не имеет памяти). Коричневый шум (рис. 2А), напротив, является процессом с очень хорошей, но краткосрочной памятью. Каждое последующее значение/событие сильно зависит от непосредственно предшествующего значения/события. Поэтому график коричневого шума более «гладкий», «консервативный».

Розовый шум (рис. 3А) представляет собой нечто среднее между белым и коричневым шумом — между хаосом и детерминированностью. Розовый шум, подобно белому, наполнен случайностями: каждый эпизод такого процесса может обладать «индивидуальностью». Но процесс в целом вполне закономерен: подобно коричневому шуму, розовый шум обладает памятью, но памятью долговременной. Здесь каждое значение/событие зависит не от непосредственно предшествующего значения/события, но прямо от всех событий, произошедших ранее, — от некоторой закономерности, которую они генерируют.

Для перенесения этой математической абстракции на реальные системы (биологические, социальные, физические и пр.) П. Бак использует понятие «прерывистое равновесие»: «Системы с прерывистым равновесием сочетают в себе черты замороженных, упорядоченных систем и хаотических, неупорядоченных систем. Эти системы могут помнить о своём 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»[7].

Идея о применимости теории СОК к изучению социополитических феноменов возникла уже в классических публикациях. Первый шаг на этом пути — идентификация розового шума в некоем реальном процессе. Это и даёт основание выдвигать гипотезы и интерпретировать исследуемый процесс через отсылки к объяснительным схемам самой теории СОК.

Кроме того, обнаружение розового шума в изучаемой системе — это повод поискать закономерность по аналогии с уже известными закономерностями в других системах или даже искусственных сообществах, которые также генерируют розовый шум. Этот приём можно обнаружить в литературе довольно часто. Конечно, это лишь инструмент эвристического поиска.

ЛИТЕРАТУРА

Конкретно-исторический дискурс исследований в области хлебного рынка в России сформировался под сильным влиянием работ академика И. Д. Ковальченко, Л. В. Милова[8], а также Б. Н. Миронова[9].

В теоретических и обзорных работах[10] можно встретить утверждения, что теория СОК применима и эвристически продуктивна в социальных дисциплинах. Л. И. Бородкин десять лет назад обратил внимание коллег на возможность использования теории СОК в исторических и политологических исследованиях[11]. Тем не менее статей, содержащих конкретные доказательства СОК в конкретных социальных процессах (за исключением экономики), крайне мало и за рубежом, и в России. Вместе с тем методология теории хаоса используется российскими исследователями, развивается соответствующий инструментарий моделирования[12].

Немалые усилия по распространению и адаптации положений и методов теории СОК в различных дисциплинах предприняли Д. Тьюкот[13], Г. Г. Малинецкий[14], М. Бьюкенен[15], Г. Бранк[16]. Т. Крон и Т. Грунд[17] попытались на философском уровне обосновать идею, что современное общество обладает всеми атрибутами критического состояния и, следовательно, склонно к разбалансированию («disequilibrate») с последующими «срывами» основных параметров в бесконечность.

Эффекты, описываемые теорией СОК, весьма часто обнаруживаются в искусственных сообществах (агентно-ориентированных моделях)[18] и в иных специальных моделях, наиболее известной из которых является модель эволюции Бака — Снеппена[19].

Очевидно, одной из наиболее ранних попыток доказать наличие СОК в социальной реальности (а именно — в истории войн) является работа Д. Робертса и Д. Тьюкота[20]. Л. — Е. Цедерман[21] предпринял исследование с аналогичными задачами. В работе М. Биггса[22] степенные законы обнаруживаются в «классовых конфликтах» в Чикаго и в стачках в Париже в конце XIX в. В 2014 г. несколько авторов — С. Пиколи, М. дель Кастилло-Массот, Х. Рибейро, Е. Ленци, Р. Мендес — опубликовали работу[23], в которой обнаружили степенной закон в распределении «событий с применением силы» в Ираке, Афганистане и Северной Ирландии.

МЕТОДЫ

Идентификация розового шума. Как установить, насколько тот или иной сигнал близок к розовому шуму? Для точной — формальной — идентификации розового шума необходимо провести спектральный анализ исследуемого процесса. С помощью быстрого преобразования Фурье сложный сигнал разлагается на ряд гармоник. Это дает возможность построить спектрограмму в системе координат, где по оси *x* обозначается частота, а по оси *y* — амплитуда. Координаты каждой точки на спектрограмме соответствуют величинам частоты и амплитуды отдельной гармоники. На спектрограмме сложного сигнала будет отображаться множество точек/гармоник (см. рис. 1Б, 2Б, 3Б).

Спектральный анализ может обнаружить некоторую статистическую закономерность в данных. Например, если мы имеем дела с розовым шумом, линия тренда для полученных точек будет близка к гиперболе. Но, конечно, нельзя утверждать, что эта статистическая закономерность «строго обязательна» для каждого эпизода или компонента реального процесса.

Гипербола — это выражение обратно пропорциональной зависимости исследуемых величин. Розовый шум — это такой сигнал, который подчинен статистической закономерности «чем выше частота сигнала (то есть чем больше число колебаний за единицу времени), тем меньше их амплитуда, и наоборот».

По традиции, на спектрограммах по оси *y* принято отображать не амплитуду, а квадрат амплитуды — мощность. Кроме того, спектрограммы обычно строят не в линейной, а в логарифмической системе координат. На логарифмической шкале каждое последующее деление обычно представляет в десять раз больше единиц, чем предыдущее деление. Логарифмические координаты как бы сжимают пространство «с краёв». Гипербола в таких координатах представляется как прямая линия.

Если совокупность точек на спектрограмме хорошо аппроксимируется степенной линией тренда, то обнаруженная закономерность имеет вид

$$S = v\frac{1}{f^{\alpha}}, \qquad (1)$$

где f — частота; S — мощность; v — коэффициент, выражающий соотношение единиц S и f, и не имеющий для этого исследования никакого значения; α («альфа») — показатель степени.

Именно от величины α зависит наклон прямой тренда в спектрограмме и определение типа шума. Ведь именно от наклона зависит распределение мощности по частотам (спектральная плотность мощности). Если $\alpha = 0$, то сигнал является белым шумом. Мощности белого шума равномерно распределены по частотам, ведь это случайный процесс и здесь все гармоники имеют шанс быть одинаково «мощными». Соответственно, линия тренда белого шума представляет собой горизонтальную прямую. Если $\alpha = 2$, то наклон прямой получается довольно крутым, поэтому такой шум считается коричневым. Если $\alpha = 1$, то мы имеем дело с идеальным розовым шумом (см. рис. 1Б, 2Б, 3Б).

В каких пределах должен находиться показатель степени α, чтобы шум считался розовым? П. Бак полагает, что «степень α может принимать значения от 0 до 2»[24]. Это самое широкое толкование розового шума. Ближе к границам этого диапазона розовый шум переходит в белый или коричневый.

Формальная идентификация розового шума предполагает вычисление показателя степени α. Эту величину мы можем легко обнаружить в автоматически рассчитываемой в MS Excel (модуле построения диаграмм) формуле степенного тренда, которая и является формулой (1). С помощью MS Excel также рассчитаем величину R^2 — стандартный инструмент, применяемый для оценки достоверности тренда. Чем ближе значение R^2 к единице, тем надежнее линия тренда аппроксимирует точки спектрограммы.

Для обеспечения сравнимости и реплицируемости результатов изучения различных сигналов необходима унификация аналитических процедур. Мы использовали следующие настройки модуля «Спектральный анализ» в Statistica: пэддинг (добавление констант во временной ряд), вычитание среднего, вычитание тренда, отмена сглаживания данных.

Мы провели проверку описанной выше идентификационной процедуры на искусственном тестовом образце идеального розового шума. Для генерирования образца был использован код powernoise[25], реализуемый в Matlab. Мы нашли, что для 200 точек тестового образца $\alpha = 1{,}01$; $R^2 = 0{,}702$.

Каково минимальное количество точек данных необходимо, чтобы можно было корректно обнаружить розовый шум? Ведь представители социальных наук, как правило, не располагают длинными рядами данных. Быстрое преобразование Фурье можно проделать даже над небольшим количеством данных, но результаты вряд ли будут убедительно интерпретабельными.

При сокращении количества точек сигнал кажется более «белым». Это фундаментальный эффект. Небольшой отрывок упорядоченного процесса может казаться случайным сочетанием событий. Мы провели более полутора сотен экспериментов с тестовыми образцами разной длины и пришли к выводу, что определить розовый шум и величину α с погрешностью до 20 % можно при наличии 75 и более точек данных[26]. В известной нам литературе[27] по СОК минимальное количество точек в исследуемых социальных процессах было 82. Примем, что 75 точек являются стандартным минимальным требованием к количеству исходных данных в наших исследованиях.

Метод 1. Суть метода сводится к простому кросс-темпоральному сравнению величин α, полученных при исследовании приблизительно равных временных отрезков. Если произошло существенное изменение величины α, то его можно интерпретировать в духе СОК как изменение качественного состояния системы. Ведь нам, в частности, известно, какие именно свойства системы заставляют её генерировать розовый шум.

Метод 2р. Мы хотели бы получить более четкое (по десятилетиям) представление о том, когда и насколько изменилось качество системы. Но мы не можем подвергнуть спектральному анализу с осмысленными результатами, например, 10 погодовых точек данных.

Чтобы обойти это ограничение, мы разработали метод 2р и индекс метаморфизации. Этот метод сам по себе выдвигается в качестве гипотезы. Здесь мы хотим не столько обнаружить с его помощью какое-либо знание, сколько стремимся показать, что этот метод, возможно, может дать интерпретабельные и эвристически ценные результаты.

Разобьем весь исследуемый период на субпериоды. Возьмем за основу начальный (во времени) субпериод из 75 точек. Последовательно прибавляя к основе по 10 точек из будущего, получим несколько субпериодов, каждый из которых будет полностью включать в себя предшествующий — более короткий. Промаркируем субпериоды в зависимости от их длинны, где $d = 1$ означает самый короткий субпериод (см. рис. 4).

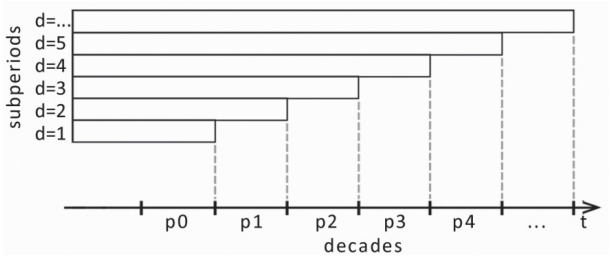

Рис. 4. Маркировка субпериодов и декад по методу 2p

Для всех субпериодов можно вычислить величину α, а также разницу между этими величинами для «соседних» субпериодов — $\Delta\alpha$, вычитая из α более длинного субпериода (α_{d+1}) величину α более короткого субпериода (α_d).

$$\Delta\alpha = \alpha_{d+1} - \alpha_d. \qquad (2)$$

Метод 2p отслеживает трансформацию начального состояния системы в некое усреднённое смешанное состояние, характерное для всего изучаемого периода. Поэтому полученные с помощью метода 2p величины α, далеко не всегда можно удовлетворительно интерпретировать.

Зато подекадные $\Delta\alpha$ могут оказаться весьма полезными, поскольку получены в результате сравнения двух субпериодов, близких по временной локализации и схожих по величине. С помощью $\Delta\alpha$ разных субпериодов рассчитаем индекс метаморфизации — m. Этот индекс может в некоторой мере сыграть роль α в качестве индикатора некоторого нового свойства системы. (Сама величина α не может быть рассчитана для каждой декады в отдельности). Индекс метаморфизации является суррогатным аналитическим инструментом — он не тождествен α, но произошёл от этого нее. m свидетельствует об уровне некоторого качества системы, которое индикатируется переходом шума между белым, розовым и коричневым цветами. В нашем конкретном случае m означает уровень освоения обществом инструментов регулирования демографического процесса.

По методу 2p для каждой n-ой декады:

$$m_{pn} = b_{p0} + \Delta\alpha_{p1} + \Delta\alpha_{p2} + \Delta\alpha_{p3} + \ldots + \Delta\alpha_{pn}, \qquad (3)$$

где b_{p0} — базовый уровень (начальная величина m для условной нулевой декады, которая является конечной декадой самого короткого суб-периода). Величину b_{p0} определим на основании экспертных оценок или на основании расчетов величин α другими методами.

$\Delta\alpha$ приписывается некоторому отрезку времени (в данном случае декаде), а величина m приписывается конкретному году — поздней границе исследуемой декады.

ГИПОТЕЗЫ

Мы предполагаем, что изменение «цвета» шума (характера динамики цен) является индикатором формирования единого рынка и показателем уровня его регулирования.

Если в каком-либо регионе не существовало единого рынка, то цена сильно зависела от природных факторов и случайных событий, т. е. динамика цен представляла собой хаотичный белый шум (α ближе к 0). Товар в этом случае массово не перетекал из одной части региона в другую, а торговля была сугубо локальной.

Если региональные локальные рынки существовали, но не еще не был сформирован единый национальный рынок, то средняя национальная цена является математической абстракцией, в которой агрегируются данные множества несвязанных и несогласованных явлений — динамик региональных рынков. В этом случае можно ожидать, что средняя национальная цена тоже будет демонстрировать белый шум.

Наличие розового шума (α ближе к 1) свидетельствует о создании рынка, идет ли речь о региональном или о национальном рынке.

Коричневый шум (α ближе к 2) означает, что система была очень консервативна, инертна и сильно зависела от состояний короткого предшествующего периода — предыдущего года. Наличие коричневого шума в ценовой динамике следует интерпретировать так, что рынок был сильно зарегулирован посредством нерыночных инструментов; и классические механизмы свободного ценообразования были искажены. Возможно, имелась монополия или мощный регулятор.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Мы провели спектральный анализ данных Б. Н. Миронова о ценах на рожь по районам России и в среднем по Европейской России за 1707–1915 гг. Некоторые нюансы подготовки этих данных для спектрального анализа представлены в приложении 1. Районирование России по Миронову приведено в приложении 2.

Исследование по методу 1: результаты и интерпретации

Следующая таблица позволяет сравнить величины α приблизительно равных временных отрезков.

Результаты спектрального анализа рядов цен на рожь

Регион	α			R^2		
	1707–1781	1782–1856	1841–1915	1707–1781	1782–1856	1841–1915
I. Северный	1,61	1,34	0,83	0,804	0,644	0,579
II. Восточный	1,41	1,00	1,29	0,742	0,503	0,559
III. Юго-Восточный	#	0,80	1,14	#	0,448	0,667
IV. Волжский	1,67	1,01	1,04	0,789	0,525	0,583
V. Центрально-Черноземный	1,58	0,73	0,98	0,758	0,378	0,527
VI. Центрально-Нечерноземный	1,62	1,11	0,89	0,812	0,629	0,615
Европейская Россия (без Украинского р-на)	1,76	1,04	0,98	0,846	0,527	0,593
VII. Прибалтийский	#	#	0,88	#	#	0,623
VIII. Западный	#	#	0,94	#	#	0,661
IX. Украинский	0,88	0,43	1,16	0,381	0,120	0,617
X. Юго-западный	#	#	1,15	#	#	0,683
XI. Степной	#	#	1,43	#	#	0,694
XII. Западная Сибирь (много лакун)	#	#	0,87	#	#	0,515
XIII. Восточная Сибирь (много лакун)	#	#	0,98	#	#	0,545

Уже в 1707–1781 гг. цены во всех районах (кроме Украинского), как и средние цены по Европейской России, демонстрируют розовый шум со смещением в сторону коричневого шума. Среднероссийская динамика и порайонная динамика цен типологически идентичны.

Это свидетельствует о следующем **(1).** Уже в XVIII в. (причем существенно ранее 1781 г.) сложился общероссийский рынок и рынки в отдельных районах Европейской России.

Так, известно, что уже в этот период получили широкое развитие общероссийские ярмарки, которые оказывали существенное влияние на формирование рыночных цен на основные виды товаров, в том числе и на зерно. Ярмарки выступали механизмом развития рынка на стадии позднего феодализма. Другим фактором ценообразования были биржи. Хотя они регулировали главным образом цены во внешнеторговой сфере, но оказывали немалое воздействие и на внутренние цены.

(2) И российский, и региональные рынки (кроме Украинского района) в 1707–1781 гг. были сильно зарегулированы. Этот своего рода квазирынок, находился, очевидно, под значительным контролем государства.

Среди способов регулирования рынка со стороны государства наиболее влиятельными были, очевидно, госзакупки продовольствия и фуража для армии. Пока объемы рынка были относительно невелики, государство как основной потребитель (через агентов-закупщиков) могло оказывать существенное влияние на цену. Это не единственный механизм вмешательства в рынок. Приведём любопытный пример. Со времен Елизаветы Петровны государство считало необходимым препятствовать в неурожайные годы перегонке помещиками зерна в вино. Перегонка, крайне выгодная помещикам, сокращала общий объем зерна в стране, уменьшала для населения возможность делать запасы и увеличивала риск голодовок. Поэтому в неурожайные годы помещичьи «винокуренные котлы» останавливались (изымались местной властью) и пломбировались, а в случае урожайного года возвращались помещикам.

Заметим, что мы фиксируем сам уровень влияния государства на рынок. В каких целях государство использовало это влияние. А то, насколько это влияние вообще было осознанным и какова была продовольственная политика — это другие вопросы.

В 1782–1856 гг. и общероссийский рынок, и региональные рынки демонстрируют динамику цен, очень близкую к розовому шуму. Динамики цен, как региональных, так и среднероссийских, опять типологически идентичны. Это может означать, что **(3)** в течение 1782–1856 гг. (не позднее середины этого периода) чисто рыночные механизмы стали преобладать над государственным регулированием. Рынок становится классическим.

В течение 1841–1915 гг. общероссийский рынок и региональные рынки продолжают демонстрировать динамику цен, очень близкую к розовому шуму. Следовательно **(4),** в 1841–1915 гг. общероссийский и региональный рынки в целом продолжали существовать в режиме, возникшем в первой полови-

не XIX в, что указывает на то, что хлебный рынок в этот период был уже вполне зрелым.

Исследование по методу 2p: результаты и интерпретации

b_{p0} — базовый уровень для 1780 г. — установлен в 1,4, исходя из того, что отклонение от этой величины может привести к значительному несоответствию большинства подекадных значений m и величин α соответствующих периодов.

Из графика, представленного на рисунке 5, можно сделать следующие выводы:

(1) Уже к 1780 г. на рынке были заметно развиты (и с высокой вероятностью преобладали) собственно рыночные механизмы установления цены, но все-таки государство оставалось влиятельным актором на рынке.

(2) В следующий период (1782–1856 гг.) произошел полный переход к нормальному капиталистическому рынку, в котором абсолютно превалировали вполне рыночные механизмы установления цены.

(3) Дерегуляция рынка со стороны государства происходила не постепенно, а скачкообразно. Индекс m резко упал первый раз в 1800-е гг. с 1,43 до 1,14; и второй раз — в 1830-е гг. с 1,26 до 0,81 (рис. 5).

Уже после первого падения индекса (т. е. в начале XIX в.) рынок можно считать классическим: рыночные факторы и механизмы ценообразования стали полностью доминировать над государственным влиянием.

После первого и второго падения индекс m начинал длительно, но слабо расти. Очевидно, государство стремилось компенсировать какие-то неудобные эффекты быстрого «разгосударствления» торговли зерном. Но в любом случае к возвращению прежнего регулирования эти слабые всплески не вели.

Можно сказать, что рынок трансформировался из зарегулированного квазирынка в капиталистический в результате двух коротких периодов — в 1800-е и в 1830-е гг. **(4)** Этот процесс мог быть столь скоротечен только потому, что к тому времени рынок как таковой уже сложился, и собственно рыночные механизмы уже были запущены в XVIII в. Поэтому государственные регуляторные функции могли быть легко заменены существующими рыночными механизмами и институтами.

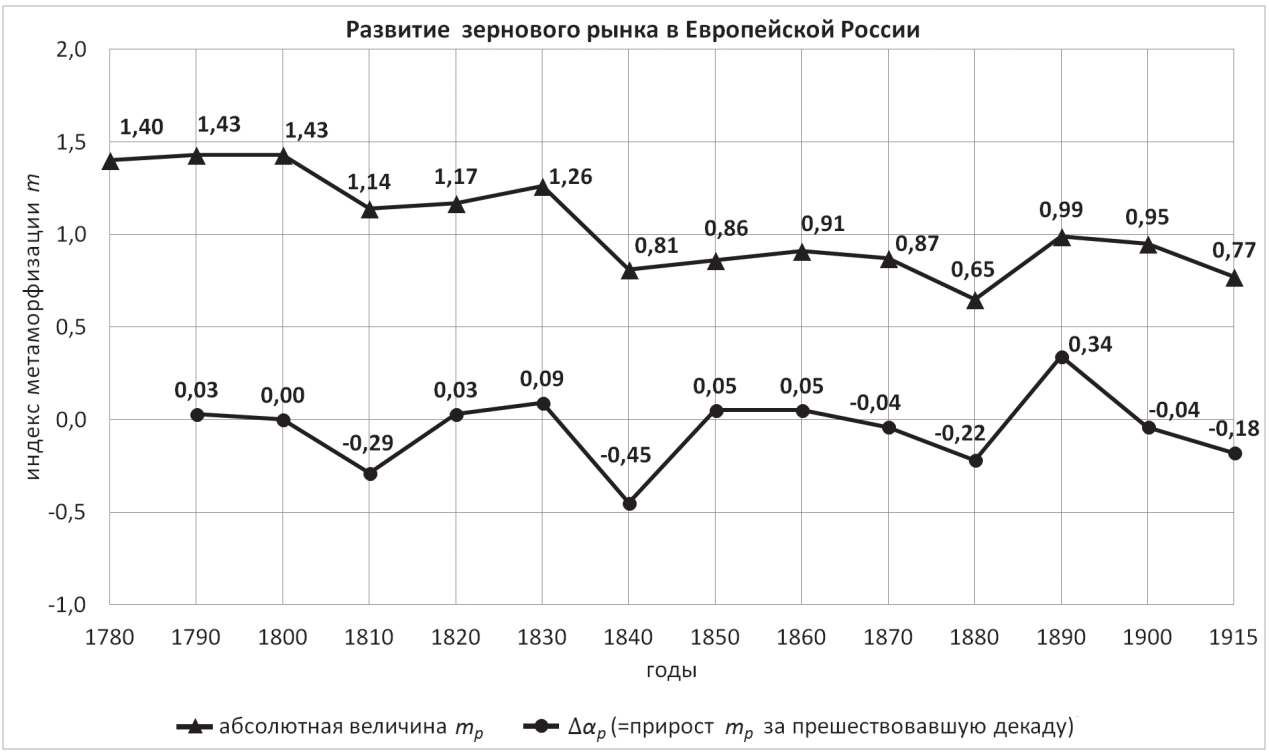

Рис. 5. Динамика индекса m по методу 2p, Европейская Россия, цены на рожь

Какие события 1800-х и 1830-х гг. могли инициировать такие трансформации?

Сокращение регуляторных функций государства вполне могло произойти не только как следствие каких-либо властных решений, но в результате сильных обстоятельств, которые значительно ограничили государственное влияние на рынок. Это схема «снизу-вверх». Рынок просто перерос (в смысле объема и сложности) административно-регуляторные возможности государства. И это мог-

ло стать очевидным в ходе кризиса или при затоваривании рынка.

Так, после введения Континентальной блокады значительная часть товарного потока, идущего ранее на экспорт, развернулась на внутренний рынок. Быстрый рост объема рынка привел к уменьшению влияния на него государства в 1800-е гг. Конечно, сама Континентальная блокада могла стать поводом для «разгосударствления» рынка исключительно потому, что рыночные механизмы к тому времени были достаточно развиты. Еще одним фактором могло стать развитие Новороссии и резкий рост объема производства зерна, которое выбрасывалось как на внешний рынок через Черноморские порты, так и на внутренний.

Следующий виток «разгосударствления» рынка — 1830-е гг., очевидно, был вызван государственными реформами, т. е. произошёл под воздействием импульса «сверху-вниз». К этому времени развитие самообеспечивающихся военных поселений привело к падению относительной доли госзакупок зерна в общем объёме рынка.

Заметим также, что в эти годы, как и в 1800-е, проявилось влияние на ценовую динамику ещё одного влиятельного фактора — внешнего рынка, в который российский зерновой рынок все более и более интегрировался. Внешний рынок оттягивал на себя значительные товарные потоки; но цена на внешнем рынке была нестабильна.

Некоторые периоды падения индекса m совпадают со временем усиления волатильности цен на рынке. Если мы посмотрим на саму динамику цен на рожь на внутреннем рынке (рис. 6), то увидим, что 1830 и 1870-е гг. — это десятилетия значительных скачков цен. Такие скачки могли быть как причиной, так и следствием резкого и глубокого снижения регуляторных функций государства в эти годы.

Рис. 6. Динамика цен на рожь, реконструкция на основе данных Б. Н. Миронова

(5) В 1841–1915 гг. рынок оставался в целом в сложившемся ранее нормальном состоянии: α за 1841–1915 гг. равна 0,98, что означало абсолютное доминирование рыночных факторов ценообразования.

Следует отметить резкий провал индекса m в 1870-е гг. до 0,65 (рис. 5). Эта величина, хотя и оставалась в рамках нормы, но сигнализировала о тенденции рынка к хаотизации. (Если индекс $m = 0$, то мы имеем дело с абсолютным хаосом, в котором не существует ни государственной регуляции, ни рыночной саморегуляции). На рисунке 6 видно, что с конца 1870-х гг. опять начинаются годы сильнейших ценовых скачков.

Очевидно, причиной дерегуляции рынка явился синергетизм двух факторов. Во-первых, фактор «сверху-вниз»: государство с начала 1870-х гг. осуществляло политику в духе экономической либерализации и частичного ослабления протекционизма. Это не могло не усилить влияние внешнего рынка.

Во-вторых, именно в 1870-е гг. внешний рынок был не стабилен и стал источником нестабильности для национальных рынков. В 1873 г. начался довольно сильный мировой финансовый кризис. В этом выразилось воздействие рыночной стихии «снизу-вверх» на ситуацию.

Уже в 1880-е гг. наблюдается резкий скачок индекса m с 0,65 до 0,99. С конца 1870-х гг. государство возвращается к протекционистским мерам. Возможно, среди прочего, осознание пагубности высокой волатильности цен на зерно заставило государство сделать шаги по защите национального рынка. В 1880-е гг. эта политика была продолжена в духе контрреформ. Кроме того, постепенно стабилизировалась ситуация и на внешнем рынке: мировой кризис завершился к концу 1870-х гг. Очевидно, уже в середине 1880-х гг. рынок восстановил нормальное состояние (индекс m вернулся к значениям около 1), однако и в дальнейшем рынок не был избавлен от потрясений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обнаружение розового шума в исторических процессах подталкивает к выводу, что существуют некоторые фундаментальные причины для этого хорошо наблюдаемого эффекта. Мы продемонстрировали, что появление и усиления/ослабление розового шума в рядах исторических данных может быть сопоставлено с действием известных конкретно-исторических факторов.

Интерпретации возникновения розового шума в духе теории СОК позволяют строить предположения о качественной трансформации исследуемой исторической системы. В частности, известно, что розовый шум в ценовой динамике генерируют системы такого типа, к которому исследователи относят и развитые классические рынки. Наблюдая изменения «цвета» шума в ценах на рожь, мы сделали некоторые выводы относительно времени формирования единого общероссийского рынка данного продукта, а также относительно уровня государственного влияние на рыночные институты. Единый рынок в пределах Европейской России (за исключением некоторых периферийных районов, которые не вошли в исследование) возник существенно ранее 1781 г. (весьма вероятно, что ранее середины XVIII в.). Несмотря на изначально сильное влияние на рынок государства, классические рыночные механизмы и институты ценообразования значительно развились и, очевидно, превалировали уже к последней четверти XVIII в.; а с 1800-х гг. их можно считать весьма зрелыми, что привело к быстрому «разгосударствлению» рынка. Конечно, мы не стремимся провести абсолютную разделительную линию между двумя этими периодами. В XVIII в. технически невозможен был тотальный административный контроль над торговлей, государство выступало скорее как влиятельный рыночный актор. А в XIX в. некий идеальный «свободный рынок» не возник: ни в одной рыночной стране мы не обнаружим совершенного отстранения государства от внутреннего рынка (тем более в такой стратегической области, как торговля зерном).

Приложение 1

О составлении длинных рядов данных на основании таблиц Б. Н. Миронова[28]

Если различные отрезки рядов выражены в разных единицах, то величины конвертировались так, чтобы первое число позднего отрезка было приблизительно равно последнему числу раннего отрезка. Единицы измерения точно не сопоставлялись, поскольку абсолютные величины цен для нас не имеют смысла — для нас важны лишь их колебания.

Ряды по районам составлены по таблице 1 (данные по районам), таблице 4 (данные по губерниям), таблице 9 (1802–1832, данные по губернским городам), таблицам 10 и 11 (данные по губерниям). То есть превалируют обобщенные погубернские данные. Данные по Европейской России вычислялись исходя из средней величины цены во всех губерниях Европейской России, входящих в состав следующих районов: Северный, Восточный, Юго-Восточный, Волжский, Центрально-Черноземный, Центрально-Нечерноземный. (Районирование по Миронову.) Количество районов в Европейской России менялось, поэтому мы брали минимальное количество районов, чтобы обеспечить сопоставимость данных за разные периоды.

Незначительные лакуны (1–2 года) были реконструированы математическими методами (линейная аппроксимация по методу наименьших квадратов — «тенденция» (в MS Excel) — с учетом данных за четыре-пять предшествовавших лет).

Приложение 2

Состав некоторых районов России

Район	Губернии
I. Северный	1. Петербургская 2. Архангельская 3. Выборгская 4. Новгородская 5. Олонецкая 6. Псковская
II. Восточный	7. Вятская 8. Оренбургская 9. Пермская 10. Самарская 11. Уфимская
III. Юго-Восточный	12. Астраханская
IV. Волжский	13. Казанская 14. Пензенская 15. Саратовская 16. Симбирская
V. Центрально-Черноземный	17. Воронежская 18. Курская 19. Орловская 20. Рязанская 21. Тамбовская 22. Тульская 23. Харьковская
VI. Центрально-Нечерноземный	24. Владимирская 25. Вологодская 26. Калужская 27. Костромская 28. Московская 29. Нижегородская 30. Смоленская 31. Тверская 32. Ярославская
IX. Украинский	33. Полтавская 34. Черниговская

Источник: Миронов Б. Н. Хлебные цены в России за два столетия (XVIII–XIX вв.). Л., 1985. Таблица 4 «Розничные цены ржи в губерниях в 1744–1773 и 1796–1801 гг.».

ПРИМЕЧАНИЯ

1 Мандельброт Б. Фрактальная геометрия Природы. М., 2002. 656 с.

2 Ковальченко И. Д., Милов Л. В. Всероссийский аграрный рынок. XVIII — начало XX века. Опыт количественного анализа. М., 1974. С. 380–381.

3 Миронов Б. Н. Хлебные цены в России за два столетия (XVIII–XIX вв.). Л., 1985. С. 187–188.

4 Жуков Д. С., Канищев В. В., Лямин С. К. Возможности использования теории самоорганизованной критичности в изучении демографических процессов в российском позднем аграрном обществе // Историческая информатика. 2014. № 1. С. 70–91; Жуков Д. С., Лямин С. К. Подходы и инструментарий теории самоорганизованной критичности в социополитических исследованиях // Pro nunc. Современные политические процессы. 2014. № 1. С. 84–109.

5 Bak P., Tang C., Wiesenfeld K. Self-organized Criticality // Physical Review A. 1988. 38 (1). P. 364–374; Bak P. How Nature Works: The Science of Self-Organized Criticality. New York, 1996.

6 Mandelbrot B. B. The Fractal Geometry of Nature. New-York, 1982; Frame M. L., Mandelbrot B. B. Fractals, Graphics and Mathematical Education. Washington DC: The University Press, 2002; 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. 135 с.

7 Бак П. Как работает природа: теория самоорганизованной критичности. М., 2013. С. 74–75.

[8] Ковальченко И. Д., Милов Л. В. Всероссийский аграрный рынок. XVIII — начало XX века. Опыт количественного анализа. М., 1974. 414 с.

[9] Миронов Б. Н. Хлебные цены в России за два столетия (XVIII–XIX вв.). Л., 1985. 301 с.

[10] Turcotte D. L., Rundle J. B. Self-organized Complexity in the Physical, Biological, and Social Sciences // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2002. 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. 17 (9). P. 3558–3578; Andergassen R., Nardini F., Ricottilli M. Innovation Waves, Self-organized Criticality and Technological Convergence // Journal of Economic Behavior & Organization. 2006. 61 (4). P. 710–728; Clauset A., Shalizi C., Newman M. Power-Law Distributions in Empirical Data // SIAM Review. 2009. 51 (4). P. 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. 34 (3). P. 613–632; Guastello S. J. Chaos, Catastrophe, and Human Affairs: Applications of Nonlinear Dynamics to Work, Organizations, and Social Evolution. Abingdon, 2013; Mathews M. K., White M. C., Long R. G. Why Study the Complexity Sciences in the Social Sciences? // Human Relations. 1999. 52 (4). P. 439–462.

[11] Бородкин Л. И. Методология анализа неустойчивых состояний в политико-исторических процессах // Международные процессы. 2005. Т. 3. № 7. С. 4–16.

[12] 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. С. 37–47; Ахременко А. С. Динамический подход к математическому моделированию политической стабильности // Полис. 2009. № 3. С. 105–112; Бородкин Л. И. «Порядок из хаоса»: концепции синергетики в методологии исторических исследований // Новая и новейшая история. 2003. № 2. С. 98–118; Бородкин Л. И., Владимиров В. Н., Гарскова И. М. Институционализация исторической информатики: к 20-летию АИК // Информационный бюллетень ассоциации История и компьютер. 2012. № 39. С. 3–7; 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; Головашина О. В., Жуков Д. С. Нелинейные эффекты динамики социально-политических институтов // Ineternum. 2012. № 2. С. 49–59; Гринин Л. Е., Коротаев А. В., Марков А. В. Макроэволюция в живой природе и обществе. М., 2008. 248 с.; Малков А. С., Малинецкий Г. Г., Чернавский Д. С. Математические модели исторических процессов: мечта или реальность? // Информационные войны. 2009. № 1. С. 54–61; Нефёдов С. А. Демографически-структурный анализ социально-экономической истории России. Екатеринбург, 2005. 543 с.; Сморгунов 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; Zhukov D., Kanischev V., Lyamin S. Fractal Modeling of Historical Demographic Processes // Historical Social Research. 2013. 38 (2). P. 271–287; Zhukov D., Lyamin S. Computer Modeling of Historical Processes by Means of Fractal Geometry // Historical Social Research. 2010. 35 (3). P. 323–350.

[13] Turcotte D. L. Self-organized criticality // Reports on Progress in Physics. 1999. 62 (10). P. 1377.
Turcotte D. L., Rundle J. B. Self-organized Complexity in the Physical, Biological, and Social Sciences // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2002. 99 (1). P. 2463–2465.

[14] Малинецкий Г. Г. Чудо самоорганизованной критичности // Бак П. Как работает природа: теория самоорганизованной критичности. М., 2013. С. 13–56.

[15] Buchanan M. Ubiquity. The Science of History… or Why the World is Simpler Than We Think. London, 2000.

[16] Brunk G. G. Self-Organized Criticality: A New Theory of Political Behaviour and Some of Its Implications // British Journal of Political Science. 2001. 31 (2). P. 427–445; Brunk G. G. Understanding self-organized criticality as a statistical process // Complexity. 2000. 5 (3). P. 26–33; Brunk G. G. Why Do Societies Collapse? A Theory Based on Self-Organized Criticality // Journal of Theoretical Politics. 2002. 14 (2). P. 195–230; Brunk G. G. Why Are So Many Important Events Unpredictable? Self-Organized Criticality as the "Engine of History" // Japanese Journal of Political Science. 2002. 3 (1). P. 25–44.

[17] Kron T., Grund T. Society as a Self-Organized Critical System // Cybernetics & Human Knowing. 2009. 16 (1–2). P. 65–82.

[18] Turcotte D. L. Self-organized criticality // Reports on Progress in Physics. 1999. 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 / Edited by A. Kirman, J. — B. Zimmermann. Berlin, 2001.

[19] Sneppen K., Bak P., Flyvbjerg H., Jensen M. H. Evolution as a self-organized critical phenomenon // Proceedings of the National Academy of Sciences. 1995. 92 (11). P. 5209–5213.

[20] Roberts D. C., Turcotte D. L. Fractality and Self-Organized Criticality of Wars // Fractals. 1998. 6 (4). P. 351–358.

[21] Cederman L.-E. Modeling the Size of Wars: From Billiard Balls to Sandpiles // American Political Science Review. 2003. (1). P. 135–150.

[22] Biggs M. Strikes as Forest Fires: Chicago and Paris in the Late Nineteenth Century // American Journal of Sociology. 2005. 110 (6). P. 1684–1714.

[23] 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. 4. P. 1–3.

[24] Бак П. Как работает природа: теория самоорганизованной критичности. М., 2013. С. 69.

[25] Авторы разработки: 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. 6. P. 23.

[26] Жуков Д. С., Лямин С. К. Проблемы идентификации розового шума в исторических данных // Fractal Simulation. 2015. № 1. С. 17–23.

[27] Roberts D. C., Turcotte D. L. Fractality and Self-Organized Criticality of Wars // Fractals. 1998. 6 (4). P. 351–358.

[28] Миронов Б. Н. Хлебные цены в России за два столетия (XVIII–XIX вв.). Л., 1985.