

Применение теории самоорганизованной критичности для исследования террористической активности*

Д. С. Жуков

В статье предпринята попытка использовать эвристический потенциал теории самоорганизованной критичности (СОК) для изучения социальных явлений, а именно – террористической активности в 20 странах мира с 1970-х гг. по 2014 г. Изложены идеи теории СОК и представлены некоторые инструменты идентификации розового шума как атрибута состояния СОК. Дан обзор публикаций по проблемам СОК в социогуманитарном предметном пространстве. В качестве источников привлечены официальные отчеты МВД России, Global Terrorism Database, RAND Database of Worldwide Terrorism Incidents. Обнаружено, что числовые ряды/сигналы, демонстрирующие изменение террористической активности, являются по большей части розовым шумом. Это позволяет обратиться к универсальным объяснительным схемам теории СОК для интерпретации свойств и динамики соответствующих систем. Показано, таким образом, что терроризм во многих странах является самоорганизованно-критическим феноменом, что дает возможность разъяснить в духе теории СОК некоторые нелинейные эффекты. Системы, пребывающие в состоянии критичности, способны к скачкообразному росту активности без хорошо наблюдаемых соразмерных причин. Изменение характера сигналов может выступать как индикатор внутрисистемных качественных изменений. Формальный параметр многих изученных сигналов – показатель степенного закона – может служить критерием для типизации террористической активности в разных странах.

Ключевые слова: самоорганизованная критичность, фрактал, розовый шум, $1/f$ -шум, терроризм, экстремизм.

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 14-06-00093а «Приложение теории самоорганизованной критичности к изучению исторических процессов».

Задачи

Ключевая задача состоит в том, чтобы идентифицировать розовый шум как атрибут самоорганизованной критичности (СОК) в террористической активности в ряде стран на протяжении нескольких последних десятилетий. Обнаружение признаков СОК в той или иной системе открывает путь для разработки гипотез и интерпретаций на основании теории СОК, которая обладает развитым инструментарием и объяснительными схемами для изучения многих процессов в природе и обществе. Непосредственным объектом исследования являются числовые ряды, дающие представление о количестве террористических событий по месяцам в разных странах.

Вторая – методологическая – задача заключается в том, чтобы продемонстрировать применимость теории СОК к изучению социальных процессов, изложить идеи и описать некоторые инструменты теории, испытать ее эвристические возможности в социогуманитарном предметном пространстве.

Теоретические подходы

В некоторых случаях изменение во времени свойств системы или ряд событий в системе являются розовым шумом ($1/f$ -шумом). Будучи фрактальным сигналом/процессом, розовый шум характеризуется масштабной инвариантностью. «Здесь, – отмечал один из разработчиков теории СОК Пер Бак, – есть изменения всех размеров: быстрые, происходящие за несколько минут, и медленные, длящиеся годами... Этот 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» (Бак 2013: 68–69).

Многие – и весьма различные – процессы представляют собой розовый шум: например, разливы рек, мерцание некоторых звезд, активность человеческого головного мозга, скачки биржевых цен, дорожные пробки и многое другое. Теория СОК претендует на то, чтобы дать универсальное объяснение причин и последствий этого феномена. Для возникновения розового шума как минимум необходимо, чтобы система состояла из очень большого числа компонентов, содержала петли обратных причинно-следственных связей, а также испытывала воздействие слабых импульсов. П. Бак и коллеги показали, что подобные системы способны практически самопроизвольно переходить в состояние критичности, атрибутом которого и является розовый шум.

Состояние самоорганизованной критичности подразумевает, что любое событие, даже кратковременное и низкоэнергетическое, имеет гло-

бальные последствия для всей системы. Локальные изменения не затухают, а инициируют многообразные причинно-следственные цепочки, множество реакций и контрреакций – и тем самым воздействуют на всю систему. Этот ансамбль изменений создает колебания разных масштабов – розовый шум. Так микроуровневые события порождают макроуровневую динамику.

Этот же механизм ведет систему к скачкообразной трансформации – лавине. В некоторый момент вялотекущие изменения резко уходят в бесконечность. Поэтому розовый шум может считаться предвестником катастрофы, хотя большое количество реальных систем издают розовый шум неограниченно долго, то есть в норме пребывают в состоянии, близком к срыву в критическое пике.

Параметры розового шума описываются некоторым степенным законом. Розовый шум типологически граничит с белым и коричневым (броуновским) шумами, образцы и спектрограммы которых представлены на Рис. 1, 2 и 3.

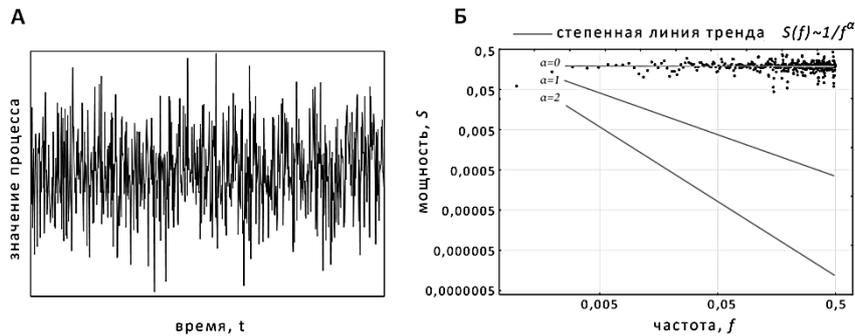


Рис. 1. Образец (А) и спектрограмма (Б) белого шума

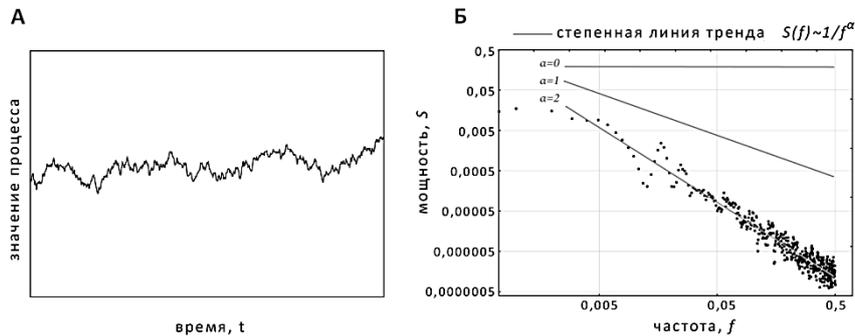


Рис. 2. Образец (А) и спектрограмма (Б) коричневого шума

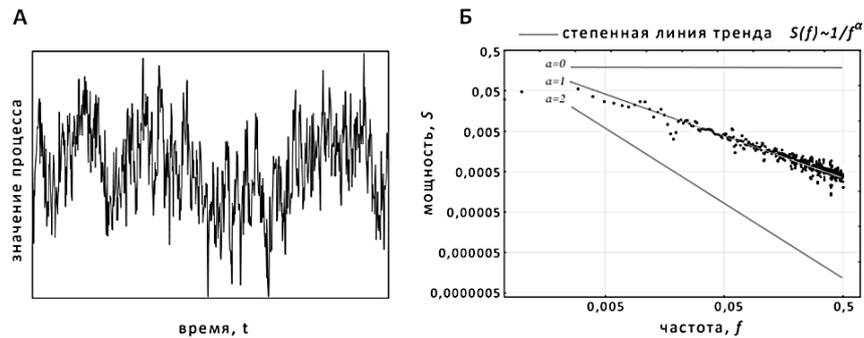


Рис. 3. Образец (А) и спектрограмма (Б) розового шума

Белый шум может свидетельствовать о хаосе и полной независимости всех последующих значений от предыдущих, такой процесс не имеет памяти. Коричневый шум, напротив, является «консервативным» процессом с очень хорошей, но краткосрочной памятью, поскольку каждое последующее значение сильно зависит от непосредственно предыдущего.

Розовый шум (Рис. 3А) представляет собой нечто среднее между белым и коричневым. 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 зависит не от непосредственно предшествующего значения, но прямо от всех событий, произошедших ранее, — от некоторой закономерности, которую они формируют.

Для перенесения этой математической абстракции на реальные — физические, биологические, социальные и прочие — системы П. Бак использовал понятие прерывистого равновесия: «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» (Бак 2013: 74–75).

Г. Г. Малинецкий указывает: «Теория самоорганизованной критичности дала объяснение явлению прерывистого равновесия, которое наблюдается в процессе биологической эволюции, функционировании социаль-

ных 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» (Малинецкий 2013: 39).

Для изучения самоорганизованной критичности П. Бак и К. Снеппен создали несколько компьютерных имитационных моделей; одна из самых известных среди них – модель эволюции. «Сложность ее поведения резко контрастирует с простотой ее устройства», – отмечал П. Бак (2013: 184). Модель демонстрирует, как частные (локальные, элементарные, микроуровневые) правила формируют нетривиальную общесистемную динамику. Известны и иные модели, могущие имитировать состояние самоорганизованной критичности (Подлазов 2001), многие из которых являются агентно ориентированными.

Идентификация того или иного процесса как розового шума является основанием для обращения к объяснительным схемам и моделям теории СОК для описания сущности и динамики системы, которая сгенерировала данный процесс.

Литература

Теория СОК изначально разработана применительно к естественнонаучным объектам (Bak *et al.* 1988; Bak 1996; Bak 2013; Sneppen *et al.* 1995). Но уже в классических работах декларировалась возможность приложения данной теории к социальным феноменам.

Немалые усилия по распространению и адаптации положений и методов теории СОК в междисциплинарном исследовательском пространстве (в том числе в социогуманитарных науках) предприняли Д. Тьюкот (Turcotte 1999; Turcotte, Rundle 2002), Г. Г. Малинецкий (2013), М. Бьюкенен (Buchanan 2000), Т. Крон и Т. Грунд (Kron, Grund 2009), Г. Бранк (Brunk 2000; 2001).

В статье «Почему общества коллапсируют?..» Г. Бранк отмечает: «Я продвигаю теорию распада обществ, которая основана на самоорганизованной критичности, представляющей собой нелинейный процесс. Этот процесс производит внезапные изменения и формирует фрактальные закономерности в исторических временных рядах. В целом я предполагаю, что... самоорганизованная критичность повсеместно встречается 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» (Brunk 2002b: 195). В другой статье Г. Бранк пишет: «Нелинейные динамические процессы самоорганизованной критичности... позволяют объяснить ряд

нерешенных аномалий... 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 следствия» (Brunk 2002a: 25).

В теоретико-методологических и обзорных работах (Mathews *et al.* 1999; Weisbuch *et al.* 2001; Pinto *et al.* 2012; Guastello 2013) можно встретить множество утверждений, что теория СОК применима и эвристически продуктивна в социогуманитарных дисциплинах.

Парадигма теории хаоса, в русле которой развиваются идеи СОК, близка российским исследователям (Бородкин 2003; 2008; Малинецкий 2013; Сморгун 2012). В отечественной науке утверждается представление о применимости и продуктивности математического моделирования и, в частности, нелинейных имитационных моделей в социогуманитарных науках (Алексеев и др. 2007; Малков и др. 2009). В России предложения исследовать СОК в социальных процессах изначально прозвучали в трудах Л. И. Бородкина (2005) и С. П. Курдюмова, Г. Г. Малинецкого, А. В. Подлазова (Курдюмов и др. 2004).

Первые работы на Западе, содержащие конкретные доказательства СОК в социальных процессах, касались истории войн (Roberts, Turcotte 1998; Cederman 2003), забастовок и «классовых столкновений» (Biggs 2005). Авторы упомянутых статей смогли обнаружить признаки СОК (в частности, степенные распределения), показали возможность объяснения социальных процессов через отсылки к универсальным объяснениям теории СОК, а также пришли к выводу, что некоторые самоорганизованно-критические модели могут весьма продуктивно имитировать изученные социальные феномены.

Для демонстрации основных эвристических схем, использующихся на данный момент, изложим более детально ряд подобных работ. В статье «Фрактальность и самоорганизованная критичность войн» Д. Робертс и Д. Тьюкот изучили сведения об интенсивности и количестве войн в мире в XV–XX вв. из трех различных баз данных. Во всех трех выборках данные распределились в соответствии со степенным законом. «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”, то есть относительно маломощного события-инициатора] иногда возникает пожар, а иногда – нет. Иногда возникает сильный пожар, а иногда – слабый. Но статистика частоты – силы пожаров подчиняется степенному закону. С точки зрения мирового порядка есть небольшие кон-

фликты, 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» (Roberts, Turcotte 1998: 357).

Одна из недавних работ посвящена изучению «событий с применением силы» в Ираке, Афганистане и Северной Ирландии (Picoli *et al.* 2014). Она подготовлена коллективом авторов: С. Пиколи, М. дель Кастилло-Массот, Х. Рибейро, Е. Ленци, Р. Мендес. Свои выводы они основывали на анализе трех БД: Северная Ирландия в 1969–2001 гг., Ирак в 2003–2005 гг. и Афганистан в 2008–2010 гг. Обнаружив в этих данных те же эффекты СОК, которые имеют место в распределении, в частности, землетрясений, авторы использовали это подобие для политологических интерпретаций: «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» (*Ibid.*: 3). Такое позитивистское уподобление рассматривается авторами как прием поиска, а не как доказательная аргументация. Вероятно, широкая распространенность этого приема в литературе спровоцирована стремлением теории СОК давать универсальные объяснения, отвлеченные от природы конкретных систем.

В России изучение эффектов СОК в социальных процессах предпринято коллективом авторов во главе с Д. С. Жуковым. В частности, в конкретно-исторических процессах были обнаружены подтверждения гипотезы о том, что цвет шума может индигировать состояние и существенные свойства социальной системы, а изменение цвета шума (например, переход от белого к розовому) показывает, как внутренне изменялась сама система. Поэтому вычисление изменений цвета позволяет судить о силе, направлении и времени трансформации исследуемой системы. Часть этих работ проделана совместно с профессором В. В. Канищевым, сотрудничество с которым позволило соединить формальный анализ с качественными интерпретациями состояния исторических систем, которые генерируют разный тип сигналов (Жуков и др. 2014; 2015; Жуков 2016).

Не столь давно важные наблюдения и интерпретации были сделаны двумя японскими учеными – И. Шимадой и Т. Коямой, которые изучали колебания электоральных предпочтений в послевоенной Японии. Они пока-

зали, что наличие розового шума в динамике ключевых параметров социальной системы может указывать на потенциал и готовность системы к масштабным социальным преобразованиям. Величина показателя степенного закона в некоторых случаях может быть использована для диагностирования трансформационного потенциала сообщества (Shimada, Koyama 2015).

Таким образом, в теоретических и некоторых конкретно-предметных работах показаны принципиальная возможность и эвристическая продуктивность приложения СОК к анализу социальных феноменов. Однако как в России, так и за рубежом, несмотря на огромные успехи теории СОК в естественных дисциплинах, она редко используется для анализа конкретных социальных процессов (за исключением экономики, где теория СОК весьма популярна как инструмент анализа ценовой динамики). Детально состояние исследований в этой области представлено в нашей статье (Жуков, Лямин 2014).

Методы

Розовый шум может быть идентифицирован с помощью спектрального анализа. Посредством быстрого преобразования Фурье исходный сложный сигнал разлагается и представляется в виде совокупности простых гармоник. Каждая такая гармоника обладает постоянной частотой и амплитудой и обозначается точкой на спектрограмме, где по оси x указывается частота, а по оси y – мощность, пропорциональная квадрату амплитуды (Рис. 4А). На спектрограмме сложного сигнала отображается несколько точек/гармоник, из которых он и состоит.

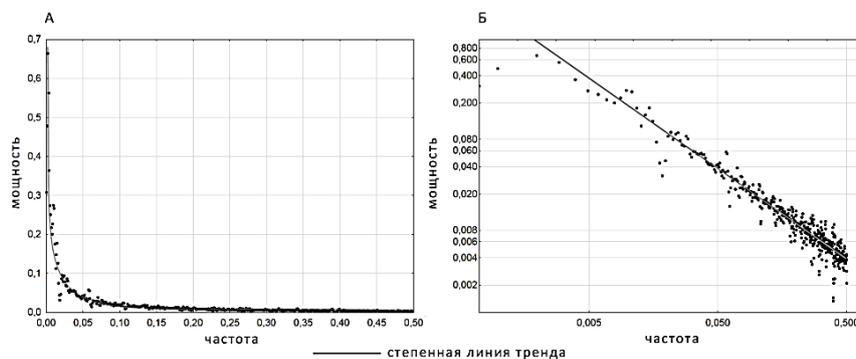


Рис. 4. Спектрограмма одного образца искусственного розового шума в линейных координатах (А) и в двойных логарифмических координатах (Б)

В спектрограммах некоторых сигналов обнаруживается определенная статистическая закономерность, а именно: линия тренда для точек/гармоник

близка к гиперболе, то есть является степенной линией тренда (Рис. 2А). Например, в розовом шуме чем выше частота гармоник (то есть чем больше число колебаний за единицу времени), тем меньше их мощность и соответственно амплитуда. Это утверждение, как и всякая статистическая закономерность, будучи верным для всего процесса, не является обязательным для каждого его эпизода.

Спектрограммы обычно строятся не в линейной, а в логарифмической системе координат, в которой пространство как бы сжимается с краев. Гипербола в таких координатах представляется как прямая линия (Рис. 4Б).

Распределение мощности сигнала по частотам, таким образом, в некоторых случаях хорошо описывается степенным законом:

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

где S – мощность; f – частота; v – коэффициент, выражающий соотношение единиц S и f ; α – показатель степени.

Величина α является ключевым идентификатором типа шума. При $\alpha \approx 2$ шум считается коричневым; при $\alpha \approx 0$ – белым. При $\alpha \approx 1$ имеем идеальный розовый шум. Если исследуемый сигнал подчинен степенному закону (1), то из результатов спектрального анализа могут быть вычислены S , f , v и, что наиболее важно для нас, α . Таким образом, можно точно численно выразить, насколько та или иная динамика системы является розовым шумом.

Вопрос о том, в каком диапазоне α шум следует считать розовым, вызывает разночтения во мнениях. П. Бак указывал, что «степень α [для розового шума] может принимать значения от 0 до 2» (Бак 2013: 69). Это довольно широкое определение. Очевидно, что ближе к границам этого диапазона розовый шум плавно переходит в белый или коричневый.

Величина α связана с наклоном линии тренда в спектрограмме (Рис. 1Б, 2Б, 3Б). Именно от наклона зависит распределение мощности по частотам (спектральная плотность мощности). Например, все частоты хаотичного сигнала имеют равные шансы на любую мощность, поэтому линия тренда белого шума представляет собой горизонтальную прямую ($\alpha \approx 0$). Наклон прямой тренда для коричневого шума более крутой, чем для розового.

Для наших исследований использовался модуль «Спектральный анализ (анализ Фурье)» в программе Statistica с настройками: пэddинг – да; вычитание среднего – да; вычитание тренда – да; сглаживание данных – нет. Для оценки достоверности тренда и соответственно величины α использовался стандартный инструмент R^2 . Чем ближе величина R^2 к 1, тем надежнее линия тренда аппроксимирует точки спектрограммы.

В наших исследованиях R^2 существенно снижался, если α приближалась к нулю. Это неудивительно, поскольку ограниченные выборки из хаотичного процесса плохо аппроксимируются любыми линиями тренда. В этом случае мы можем говорить об обнаружении белого шума с высокой долей условности. Тем не менее сочетание низких показателей α и R^2 , конечно, свидетельствует о принципиально более хаотичном процессе, нежели розовый или коричневый шум. А это утверждение вполне достаточно для наших интерпретаций.

Заметим также, что в силу самой природы статистических закономерностей умеренное отклонение R^2 от 1 вовсе не свидетельствует о низкой репрезентативности линии тренда. Мы сгенерировали искусственные тестовые образцы идеального розового шума посредством кода `rownoise` (Little *et al.* 2007) и применили к ним идентификационные процедуры, описанные выше. Мы нашли, что, например, для 200 точек данных $\alpha \approx 1$, $R^2 \approx 0,7$. Все-таки мы имеем дело с процессами, в которых велик элемент случайности. А в реальных сигналах такой элемент еще весомее, чем в искусственных.

Быстрое преобразование Фурье можно применить к относительно небольшим наборам данных, но результаты вряд ли будут интерпретабельными. При сокращении количества точек данных сигнал кажется более белым. Это фундаментальный эффект: короткий отрывок даже весьма упорядоченного процесса может казаться случайным сочетанием событий. Поскольку для социогуманитарных исследований редко имеется возможность привлечь большие данные, возникает вопрос, какое минимальное количество точек данных требуется для корректной идентификации розового шума.

В известной нам литературе по СОК минимальное количество точек в изученных социальных процессах было 82 (Roberts, Turcotte 1998). Мы провели более полутора сотен экспериментов с тестовыми образцами разной длины и пришли к выводу, что определить величину α с погрешностью до 20 % можно при наличии 75 и более точек данных (Жуков, Лямин 2015). Поэтому мы приняли, что 75 точек являются стандартным минимальным требованием к количеству исходных данных для идентификации цвета шума в наших исследованиях.

При наличии существенно большего количества точек данных эвристически продуктивным является сравнение величин α , полученных при исследовании разных временных отрезков одного и того же процесса. Изменение α можно интерпретировать в духе СОК как изменение качественного состояния системы. Ведь нам, в частности, известно, какие именно свойства системы заставляют ее генерировать розовый шум.

Исходные данные и хронологические рамки

Сведения о помесечных количествах террористических и экстремистских событий в разных странах, а также о помесечных количествах жертв были извлечены из трех баз данных. Поскольку критерии отбора фактов для включения в эти БД были, очевидно, не тождественны, данные из разных источников при анализе не смешивались.

1. В официальных отчетах МВД России (Состояние... 2016) с 2003 г. доступны сведения о числе преступлений террористического характера и о числе преступлений экстремистской направленности по месяцам. Однако в отчетах до апреля 2006 г. число террористических актов корректно установить невозможно, так как в общих суммах учитывались «заведомо ложные сообщения об акте терроризма».

2. *RAND Database of Worldwide Terrorism Incidents* (RAND... 2016) содержит сведения по многим странам с 1972 по 2009 г. БД поддерживается подразделением корпорации *RAND – National Security Research Division*. По России до 1998 г. база содержит явно отрывочные сведения. Для исследования были использованы помесечные данные о числе террористических «инцидентов», а также о количестве убитых и пострадавших в России с 1998 по 2009 г.

3. *Global Terrorism Database* (Global... 2016) является наиболее информативной и вызывающей доверие глобальной базой данных: она содержит сведения о 140 тыс. террористических атак с 1970 по 2014 г. по всему миру. БД поддерживается исследовательским центром *The National Consortium for the Study of Terrorism and Responses to Terrorism* (START), аффилированным с Мэрилендским университетом. Из этой БД были получены помесечные сведения о количестве атак в течение длительных периодов в 20 странах мира, а также о числе пострадавших и погибших (только в России) (см. Табл. 1).

Табл. 1. Объемы и хронологические рамки исходных данных из *Global Terrorism Database*

Страна	Период, обеспеченный непрерывными данными в БД	Количество террористических атак, учтенных в БД за данный период
Алжир	1991–2014	2721
Афганистан	2002–2014	7613
Великобритания	1971–2014	4919
Израиль	1979–2014	1988
Индия	1983–2014	9048
Индонезия	1995–2014	653
Ирак	2003–2014	15 845

Окончание Табл. 1

Страна	Период, обеспеченный непрерывными данными в БД	Количество террористических атак, учтенных в БД за данный период
Испания	1971–2010	3243
Колумбия	1975–2014	7954
Ливан	1979–2014	2348
Нигерия	2006–2014	2128
Пакистан	1986–2014	11 490
Россия	1994–2014	2060
США	1970–2014	2683
Турция	1987–2014	2548
Филиппины	1978–2014	4830
Франция	1973–2014	2578
ФРГ	1970–1997	1090
Шри-Ланка	1984–2009	2924
ЮАР	1979–1996	1850

Для исследования были отобраны страны и отрезки времени, где и когда террористические атаки имели место в течение не менее 6 месяцев в каждом году. Например, для ФРГ в 2000–2010-х гг. феномен терроризма, если следовать указанному критерию, не был характерен.

Для кросс-темпорального сравнения величин α имеющиеся ряды данных были разбиты на отдельные периоды, исходя из следующих критериев.

Во-первых, для большинства стран период до начала 1990-х гг. (I) следует рассматривать отдельно от периода с середины 1990-х гг. по настоящее время (II), поскольку источники террористической активности в эти периоды были принципиально разными. В частности, с 1990-х гг. мощным источником терроризма становится исламистский фундаментализм, тогда как ранее террористическая деятельность была инструментом разного рода этносепаратистских и леворадикальных организаций и движений. В *Global Terrorism Database* сведения за 1993 г. частично утрачены из-за технической ошибки, поэтому удобно считать поздней границей периода I 1992 г., а ранней границей периода II – 1994 г.

Заметим, однако, что такая разбивка не избавляет от смешения нескольких отличных друг от друга феноменов, в частности в Индии.

Во-вторых, во всех странах, где это возможно, особо был исследован период с 2008 по 2014 г. (III), что позволило зафиксировать условное современное состояние. Этот хронологический отрезок включает 84 точки данных, что больше размера минимального набора. К сожалению, нет прямой возможности зафиксировать некое «совсем современное» состояние (например, 2015–2016 гг.), поскольку нет надежды убедительно интерпретировать величину α , вычисленную для небольшой совокупности данных.

Границы периодов I, II и III для отдельных стран были скорректированы (сдвинуты внутрь соответствующего хронологического отрезка) в зависимости от страновой специфики и от наличия/отсутствия статистических данных.

Результаты

В Табл. 2 представлены результаты спектрального анализа и идентификации цвета шума в рядах данных, характеризующих террористическую и экстремистскую активность в России. Эта таблица дает возможность сопоставить результаты обработки сведений из разных БД и по разным объектам (по количеству событий и по количеству жертв).

Табл. 2. Показатели степенного закона для террористической и экстремистской активности в России

№	Источник данных/ характер данных	Исследованный период, месяц, год	α	R^2
1	МВД РФ/количество преступлений террористического характера по месяцам	04.2006–08.2015	0,64	0,527
2	МВД РФ/количество преступлений экстремистской направленности по месяцам	01.2003–08.2015	0,46	0,229
3	<i>RAND Database of Worldwide Terrorism Incidents</i> /количество террористических «инцидентов» по месяцам	01.1998–12.2008	0,72	0,441
4	<i>RAND Database of Worldwide Terrorism Incidents</i> /количество пострадавших + убитых по месяцам	01.1998–12.2008	0,00	0,000
5	<i>Global Terrorism Database, START</i> /количество террористических атак по месяцам	01.1994–12.2014	0,56	0,48
6	<i>Global Terrorism Database, START</i> /количество пострадавших + убитых по месяцам	01.1994–12.2014	0,07	0,015

Из Табл. 2 видно, что ряды № 4 и 6 (изменение количества погибших и пострадавших) демонстрируют хаотичное поведение ($\alpha \approx 0$), тогда как ряды № 1, 3 и 5 (изменение количества террористических событий) являются в значительной мере розовым шумом (α ближе к 1). Подобный эффект имеет очевидное объяснение: количество жертв террористических актов зависит от многих случайных обстоятельств, тогда как количество и частота самих террористических актов определяются не только случайным образом. Соответствие результатов общеизвестным представлениям косвенно свидетельствует о корректности метода.

Разброс величин α в рядах № 1, 3 и 5 оказался невелик, что указывает на устойчивую воспроизводимость результатов, в определенной мере индифферентных к различиям в методиках составления разных БД. Это также свидетельствует в пользу адекватности метода.

На Рис. 5 представлены примеры спектрограмм розового (А) и белого (Б) шумов, идентифицированных в колебаниях интенсивности террористических атак в разных странах.

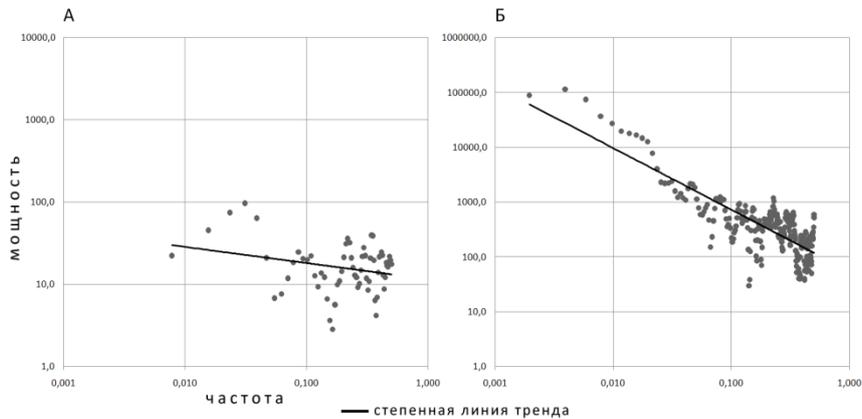


Рис. 5. Спектрограммы рядов данных о количестве террористических атак (исходные данные из *Global Terrorism Data-base*). А – Великобритания, 2008–2014 гг., $\alpha = 0,19$, $R^2 = 0,071$. Б – Пакистан, 1986–2014 гг., $\alpha = 1,12$, $R^2 = 0,679$

В случае с Пакистаном R^2 формально далек от 1, однако на Рис. 5 в спектрограмме Б очевидно наличие упорядоченности и хорошо прослеживается тренд. Особенно это заметно в сравнении с довольно беспорядочной конфигурацией точек в спектрограмме А. Этот довольно типичный пример дает надежду, что даже средние – недотягивающие до теоретического максимума – значения R^2 все-таки свидетельствуют о приемлемой достоверности соответствующих величин α . Такой подход тем более оправдан в социальных исследованиях.

Табл. 3 содержит сведения о величинах α для колебаний интенсивности террористической активности (террористических атак) в 20 странах мира в течение периодов I, II и III.

Табл. 3. Показатели степенного закона для рядов помесечных данных о количестве террористических событий (исходные данные из *Global Terrorism Database*)

Страна	Период I \approx с 1970-х гг. по 1992 г.			Период II \approx с 1994 по 2014 г.			Период III = с 2008 по 2014 г.		
	годы	α	R^2	годы	α	R^2	годы	α	R^2
Алжир	–	–	–	1994–2014	0,77	0,527	2008–2014	0,73	0,485
Афганистан	–	–	–	2002–2014	1,17	0,628	2008–2014	1,17	0,656
Велико-британия	1971–1992	0,67	0,476	1994–2014	0,7	0,480	2008–2014	0,19	0,071
Израиль	1979–1992	0,68	0,491	1994–2014	0,6	0,524	2008–2014	0,63	0,547
Индия	1983–1992	0,66	0,636	1994–2014	0,52	0,361	2008–2014	0,41	0,227
Индонезия	–	–	–	1995–2014	0,25	0,121	2008–2014	0,25	0,142
Ирак	–	–	–	2003–2014	0,98	0,641	2008–2014	1,23	0,693
Испания	1971–1992	0,64	0,419	1994–2010	0,17	0,033	–	–	–
Колумбия	1975–1992	0,35	0,123	1994–2014	0,87	0,582	2008–2014	0,73	0,505
Ливан	1979–1992	0,77	0,480	1994–2014	0,89	0,519	2008–2014	0,89	0,493
Нигерия	–	–	–	–	–	–	2008–2014	0,78	0,421
Пакистан	1986–1992	0,47	0,143	1994–2014	1,08	0,700	2008–2014	0,79	0,554
Россия	–	–	–	1994–2014	0,56	0,480	2008–2014	0,78	0,554
США	1970–1992	0,99	0,580	1994–2014	0,17	0,061	2008–2014	–0,115	0,041
Турция	–	–	–	1994–2014	0,63	0,415	2008–2014	0,82	0,427
Филиппины	1978–1992	0,56	0,423	1994–2014	0,91	0,665	2008–2014	0,77	0,732
Франция	1973–1992	0,41	0,408	1994–2014	0,5	0,262	2008–2014	0,09	0,006
ФРГ	1970–1997	0,36	0,159	–	–	–	–	–	–
Шри-Ланка	1984–1992	1,11	0,593	1994–2009	0,85	0,641	–	–	–
ЮАР	1979–1996	0,95	0,642	–	–	–	–	–	–

В пользу примененного инструментария свидетельствует совпадение существенных изменений α с масштабными трансформациями внутри некоторых стран. Например, можно обнаружить сокращение α в Испании

с 0,64 (период I) до 0,17 (период II); в Великобритании – с 0,7 (период II) до 0,19 (период III). В Испании баскские сепаратисты к концу 1990-х гг. постепенно переходят от террористических к легальным средствам борьбы. Аналогичные процессы и в это же время происходили в Ирландской республиканской армии в Великобритании. Прежние субъекты террористической активности ослабели, а новые (исламистские), очевидно, оказались не столь системными. В Колумбии можно наблюдать, напротив, скачок α с 0,35 (период I) до 0,87 (период II) с тенденцией к уменьшению в периоде III. Хотя противостояние правительства и леворадикалов в Колумбии началось еще в 1970-е гг., но именно в 1990-е гг. (начало периода II) силы ФАРК переживали период расцвета. Кроме того, именно в это время страна столкнулась с четко организованным праворадикальным терроризмом (со стороны Объединенных сил самообороны Колумбии).

Чтобы выявить типы террористической активности и сгруппировать страны по этим типам, был проведен кластерный анализ величин α за 2008–2014 гг. (Табл. 3, предпоследний столбец). Для стран, где показатель α в этом периоде неизвестен, использовался показатель за предшествовавший период.

На каждом шаге алгоритм кластеризации связывает два наиболее близких объекта (будь то отдельные страны или связанные ранее группы стран). Чтобы осуществить это связывание, нужно «преодолеть» некоторое «расстояние» – разницу между значениями объектов. С каждым шагом мелкие кластеры объединяются во все более крупные – и расстояние связывания, необходимое для создания нового кластера, или остается прежним, или увеличивается (Рис. 6). Следовательно, при очень большом расстоянии связывания рано или поздно могут возникнуть искусственные кластеры. Чтобы отличить их от «естественных» кластеров, указывающих на реальные типы объектов, рассмотрим график на Рис. 6. Обычно подобные графики имеют горизонтальное или почти горизонтальное плато. На некотором шаге плато может заканчиваться и график резко уходит вверх. Это означает, что для создания новых кластеров алгоритму требуется брать существенно большее расстояние связывания, и, следовательно, новые кластеры являются более искусственными. Точка окончания плато (маркер *M* на Рис. 6 и 7) и является границей, отделяющей реальные кластеры от искусственных.

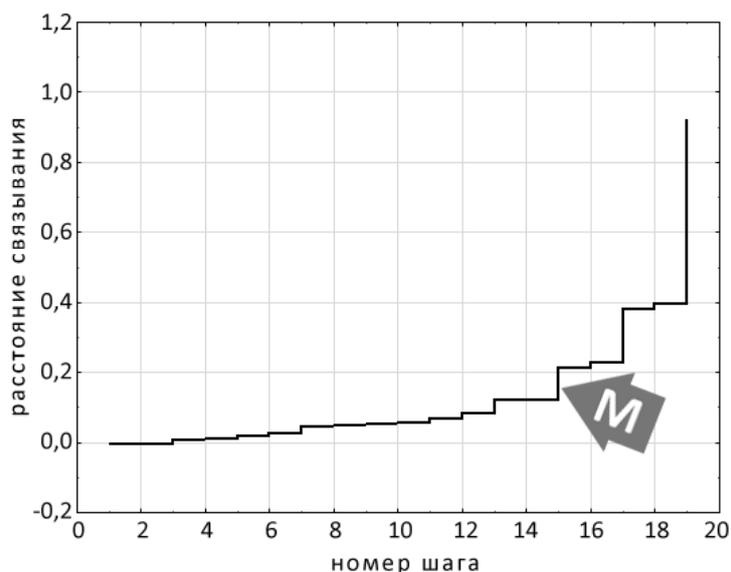


Рис. 6. Зависимость расстояния связывания от номера шага; кластеризация 20 стран по величине α за 2008–2014 гг. (исходные данные из *Global Terrorism Database*)

Результаты кластерного анализа представлены на дендрограмме на Рис. 7. Для ее создания использовался модуль кластеризации в Statistica со следующими настройками: метод – древовидная кластеризация; правило объединения – взвешенное попарное арифметическое среднее; мера расстояния – евклидово расстояние.

При расстоянии связывания M выявляются 6 кластеров, из которых 4 можно считать полноценными. Есть основания не принимать во внимание странный кластер «ФРГ, Индия»: для ФРГ α взята за 1970–1997 гг., а в Индии мы имеем смешение разных феноменов. США представляют собой исключительный единичный кластер.

В результате ряда аналитических процедур (спектральный анализ, кластеризация и пр.), индифферентных к таким соображениям, как географическое положение стран или их уровень дохода, мы получили на одном крае США, Францию, Испанию и Великобританию, а на другом – Афганистан и Ирак. Это может свидетельствовать о способности данных процедур раскрывать некоторый скрытый информационный потенциал в исходных числовых рядах. Любопытно, что при расстоянии связывания большем, чем 0,4, распределение стран по кластерам демонстрирует, за некоторым исключением, ситуацию «The West and the Rest».

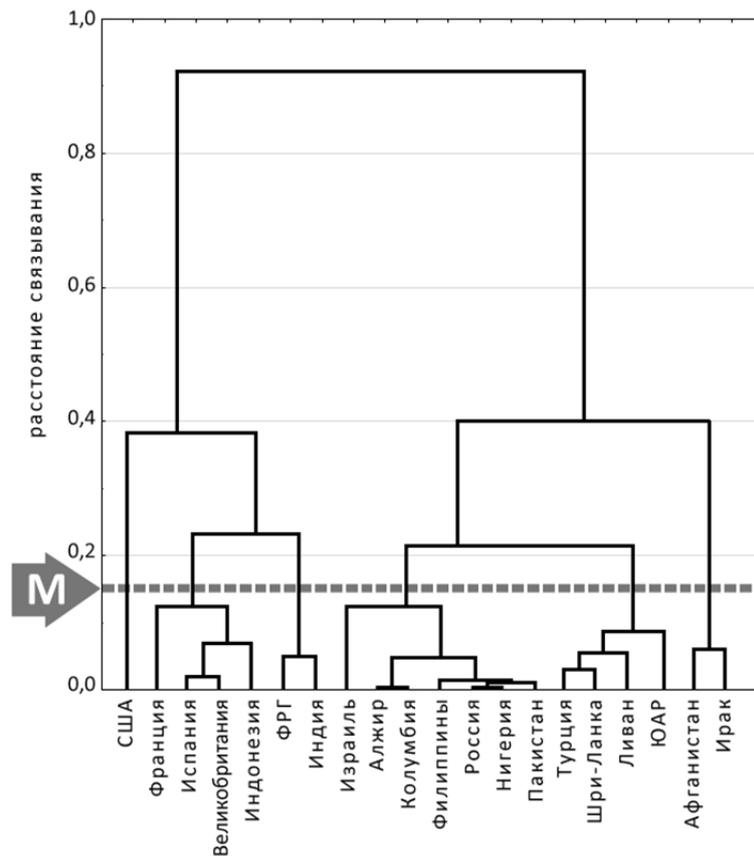


Рис. 7. Дендрограмма: кластеризация 20 стран по величине α за 2008–2014 гг. (исходные данные из *Global Terrorism Database*)

Интерпретации и гипотезы

В зависимости от цвета шума в рядах данных и с учетом объяснительных схем теории СОК мы условно выделили три «идеальных типа» террористической активности. Эта типология не опирается в качестве критерия на уровень/интенсивность террористической активности. Конкретные причины и факторы, вызывающие интенсификацию или спад терроризма, могут иметь разные последствия, будучи приложенными к социальным объектам разного типа. Поэтому важно понять, каков системный характер самого общества и субъектов террористической активности – на что они способны или не способны.

Белый шум характерен для обществ, в которых терроризм не имеет внутреннего системного источника, а всплески террористической активности – даже значительные всплески – могут быть вызваны краткосрочными и локальными экстраординарными причинами, сиюминутными случайными комбинациями обстоятельств. Причем переходы от высокой к низкой активности могут быть быстрыми и хаотичными, что указывает на открытость соответствующих обществ к влиянию внешних источников терроризма. В странах «белого» типа, очевидно, нет структурной готовности и потребности для масштабных потрясений. Такие общества могут быть объектами угроз, но сами по себе и внутри себя не генерируют долгосрочной террористической активности. Также с большой вероятностью можно предположить, что террористическое подполье, функционирующее в режиме белого шума, является атомизированной совокупностью несвязанных или плохо связанных субъектов.

Коричневый шум характерен для обществ, находящихся в состоянии «террористической гражданской войны» в горячей или скрытой фазе. Этот тип противоположен «белому». Здесь – как и во всех типах – террористическая активность может быть как высокой, так и низкой. Но переход от высокой к низкой если и происходит, то осуществляется очень медленно, постепенно, под воздействием хорошо видимых и достаточно сильных объективных причин. Это означает, что социум находится под мощным давлением неких детерминирующих факторов, которые стабильно воспроизводят приблизительно одинаковый уровень террористической активности. Эти факторы могут выступать как генераторы или, напротив, как депрессоры активности. «Коричневый» тип, таким образом, можно представить как ситуацию максимально заорганизованного терроризма. Процессы здесь хорошо контролируются основными субъектами: правительственными силами и террористическим подпольем, которое в этом случае должно быть единым, дисциплинированным и стабильным.

Субъект, генерирующий террористическую активность в режиме розового шума, является, вероятно, частично управляемой системой, которая обладает долговременной памятью (возможно, элементами долгосрочного планирования), однако не обладает способностью полностью контролировать свою активность. Розовый шум издает система, элементы которой по меньшей мере информационно связаны.

Общества «розового» типа содержат системный потенциал для значительного роста числа террористических событий. Причем этот всплеск может возникнуть буквально самопроизвольно – без видимых причин. Любое снижение правоохранительных усилий может привести к чрезвычайно быстрому росту террористической активности. Кроме того, пока имеется подобный системный потенциал, любые – сколько-нибудь мас-

штабные – контртеррористические меры даже теоретически не могут гарантировать абсолютное пресечение лавинообразных эффектов.

Изменение цвета, как мы полагаем, индицирует трансформацию внутренних качественных свойств системы, которая генерирует исследуемый процесс. В частности, переход от белого шума к розовому сигнализирует о самоорганизации и возрастании критических процессов, о расквашивании системы разного рода внешними импульсами, о появлении в системе устойчивых петель обратных причинно-следственных связей.

Рассматривая реальные кластеры/типы террористической активности (Рис. 6), можно сформулировать следующие наблюдения. Прежде всего следует констатировать, что терроризм в большинстве стран является самоорганизованно-критическим феноменом.

К «белому» типу относится следующая группа стран: кластеры «США», «Франция, ..., Индонезия», «ФРГ». (Индию мы не причисляем к «белому» типу, поскольку там белый шум, очевидно, возник из-за наложения сигналов, исходящих от разных источников терроризма.)

Большая часть исследованных стран относится к «розовому» типу. В кластере «Израиль, ..., Пакистан» доминирует розовый шум со значительной примесью элементов хаотичного поведения. Последнее обстоятельство, очевидно, не избавляет от крупных лавин, но несколько нивелирует закономерности, делающие такие лавины неизбежными.

Для кластера «Турция, ..., ЮАР» характерен практически идеальный розовый шум, что делает высоковероятными масштабные всплески террористической активности на территории соответствующих стран. Терроризм здесь является самоподдерживающимся системным феноменом. (Эти суждения не могут быть распространены на ЮАР и Шри-Ланку, данные по которым брались не за современный период.)

Кластер «Афганистан, Ирак» также относится к «розовому» типу, но отчетливо тяготеет к «коричневому». Действительно, терроризм стал инструментом фактически гражданской войны в этих странах. Преимущественно «коричневых» кластеров не обнаружено. Возможно, современный терроризм не является столь заорганизованным на уровне целых стран феноменом, как это допускают теоретические построения.

Заключение

В результате спектрального анализа сигналов, демонстрирующих изменение террористической активности в 20 странах мира за несколько последних десятилетий, установлено, что большинство таких сигналов являются розовым шумом. Это позволяет обратиться к универсальным объяснительным схемам теории СОК для интерпретации свойств и динамики систем, генерирующих эти сигналы. Таким образом, терроризм во многих

странах является самоорганизованно-критическим феноменом, что позволяет найти некоторые подходы к разъяснению таких нелинейных эффектов, как «неожиданные» масштабные всплески активности. Изменение характера сигналов может выступать как индикатор качественных изменений соответствующих систем, что подталкивает к построению гипотез относительно трансформации субъектов террористической активности в контексте эволюции соответствующих обществ. Формальный параметр многих изученных сигналов – показатель степенного закона – может служить критерием для типизации террористической активности в разных странах. Подобные результаты дают надежду, что идеи и инструментарий теории СОК являются эвристически продуктивными не только в естественных, но и в социогуманитарных исследованиях.

Библиография

- Алексеев В. В., Бородкин Л. И., Коротаев А. В., Малинецкий Г. Г., Подлазов А. В., Малков С. Ю., Турчин П. В. 2007. Международная конференция «Математическое моделирование исторических процессов». *Вестник Российского фонда фундаментальных исследований* 6: 37–47.
- Бак П. 2013. *Как работает природа: Теория самоорганизованной критичности*. М.: URSS.
- Бородкин Л. И. 2003. «Порядок из хаоса»: концепции синергетики в методологии исторических исследований. *Новая и новейшая история* 2: 98–118.
- Бородкин Л. И. 2005. Методология анализа неустойчивых состояний в политико-исторических процессах. *Международные процессы* 3(7): 4–16.
- Бородкин Л. И. 2008. Концепции синергетики в исследованиях неустойчивых исторических процессов: современные дискуссии. *Информационный бюллетень ассоциации «История и компьютер»* 35: 5–8.
- Жуков Д. С. 2016. Эвристические возможности теории самоорганизованной критичности в исследовании террористической и экстремистской активности. *PolitBook* 1: 6–26.
- Жуков Д. С., Канищев В. В., Лямин С. К. 2014. Возможности использования теории самоорганизованной критичности в изучении демографических процессов в российском позднем аграрном обществе. *Историческая информатика* 1: 70–91.
- Жуков Д. С., Канищев В. В., Лямин С. К., Мизис Ю. А. 2015. Опыт изучения истории российского хлебного рынка средствами теории самоорганизованной критичности. *Историческая информатика* 1: 59–72.
- Жуков Д. С., Лямин С. К. 2014. Подходы и инструментарий теории самоорганизованной критичности в социополитических исследованиях. *Pro nunc. Современные политические процессы* 13(1): 84–109.

- Жуков Д. С., Лямин С. К. 2015.** Проблемы идентификации розового шума в исторических данных. *Fractal Simulation* 1: 17–23.
- Курдюмов С. П., Малинецкий Г. Г., Подлазов А. В. 2004.** Историческая динамика. Взгляд с позиций синергетики. *Препринты ИПМ им. М. В. Келдыша РАН* 85. URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2004-85>.
- Малинецкий Г. Г. 2013.** Чудо самоорганизованной критичности. В: Бак П., *Как работает природа: Теория самоорганизованной критичности*. М.: URSS.
- Малков А. С., Малинецкий Г. Г., Чернавский Д. С. 2009.** Математические модели исторических процессов: мечта или реальность? *Информационные войны* 1: 54–61.
- Подлазов А. В. 2001.** *Новые математические модели, методы и характеристики в теории самоорганизованной критичности*: дис. ... канд. физ.-мат. наук. М.: Ордена Ленина Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН.
- Сморгунов Л. В. 2012.** Сложность в политике: некоторые методологические направления исследований. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 6: Философия. Культурология. Политология. Право. Международные отношения* 4: 90–101.
- Состояние преступности. Сайт МВД РФ. 2016.** URL: <https://mvd.ru/folder/101762>.
- Bak P. 1996.** *How Nature Works: The Science of Self-Organized Criticality*. New York, NY: Copernicus.
- Bak P., Tang C., Wiesenfeld K. 1988.** Self-organized Criticality. *Physical Review A* 38(1): 364–374.
- Biggs M. 2005.** Strikes as Forest Fires: Chicago and Paris in the Late Nineteenth Century. *American Journal of Sociology* 110(6): 1684–1714.
- Brunk G. G. 2000.** Understanding Self-organized Criticality as a Statistical Process. *Complexity* 5(3): 26–33.
- Brunk G. G. 2001.** Self-Organized Criticality: A New Theory of Political Behaviour and Some of its Implications. *British Journal of Political Science* 31(2): 427–445.
- Brunk G. G. 2002a.** Why are so Many Important Events Unpredictable? Self-Organized Criticality as the “Engine of History”. *Japanese Journal of Political Science* 3(1): 25–44.
- Brunk G. G. 2002b.** Why do Societies Collapse? A Theory Based on Self-Organized Criticality. *Journal of Theoretical Politics* 14(2): 195–230.
- Buchanan M. 2000.** *Ubiquity. The Science of History... or Why the World is Simpler Than We Think*. London: Weidenfeld & Nicolson.
- Cederman L.-E. 2003.** Modeling the Size of Wars: From Billiard Balls to Sandpiles. *American Political Science Review* 1: 135–150.
- Global Terrorism Database. 2016.** URL: <http://www.start.umd.edu/gtd>.
- Guastello S. J. 2013.** *Chaos, Catastrophe, and Human Affairs: Applications of Nonlinear Dynamics to Work, Organizations, and Social Evolution*. Abingdon: Psychology Press.

- Kron T., Grund T. 2009.** Society as a Self-Organized Critical System. *Cybernetics & Human Knowing* 16(1–2): 65–82.
- Little M. A., McSharry P. E., Roberts S. J., Costello D. A. E., Moroz I. M. 2007.** Exploiting Nonlinear Recurrence and Fractal Scaling Properties for Voice Disorder Detection. *BioMedical Engineering OnLine* 6: 23.
- Mathews M. K., White M. C., Long R. G. 1999.** Why Study the Complexity Sciences in the Social Sciences? *Human Relations* 52(4): 439–462.
- Picoli S., Castillo-Mussot M. del, Ribeiro H. V., Lenzi E. K., Mendes R. S. 2014.** Universal Bursty Behaviour in Human Violent Conflicts. *Scientific Reports* 4: 1–3.
- Pinto C. M. A., Mendes Lopes A., Machado J. A. T. 2012.** A Review of Power Laws in Real Life Phenomena. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation* 17(9): 3558–3578.
- RAND Database of Worldwide Terrorism Incidents. 2016.** URL: http://smapp.rand.org/rwtid/search_form.php/.
- Roberts D. C., Turcotte D. L. 1998.** Fractality and Self-organized Criticality of Wars. *Fractals* 6(4): 351–358.
- Shimada I., Koyama T. 2015.** A Theory for Complex System's Social Change: an Application of a General "Criticality" Model. *Interdisciplinary Description of Complex Systems* 13(3): 342–353.
- Sneppen K., Bak P., Flyvbjerg H., Jensen M. H. 1995.** Evolution as a Self-organized Critical Phenomenon. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 92(11): 5209–5213.
- Turcotte D. L. 1999.** Self-organized Criticality. *Reports on Progress in Physics* 62(10): 1377.
- Turcotte D. L., Rundle J. B. 2002.** Self-organized Complexity in the Physical, Biological, and Social Sciences. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 99(1): 2463–2465.
- Weisbuch G., Solomon S., Stauffer D. 2001.** 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, pp. 43–55. Berlin: Springer Berlin Heidelberg.