

# **ПОДХОДЫ К МОДЕЛИРОВАНИЮ**

## **СТЕПЕННЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И САМООРГАНИЗОВАННАЯ КРИТИЧНОСТЬ В СОЦИОГУМАНИТАРНОМ ПРЕДМЕТНОМ ПРОСТРАНСТВЕ: ИДЕНТИФИКАЦИЯ, МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИНТЕРПРЕТАЦИИ<sup>1</sup>**

**ЖУКОВ Дмитрий Сергеевич**

Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина,  
кандидат исторических наук,  
доцент кафедры международных отношений и политологии,  
e-mail: ineternatum@mail.ru

**Мовчко Юлия Игоревна**

Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина,  
программист, сотрудник Центра фрактального моделирования,  
e-mail: ineternum@mail.ru

Авторы демонстрируют эвристические возможности теории самоорганизованной критичности (СОК) и модели Снеппена для изучения социо-политических институциональных трансформаций. Представлены результаты компьютерных экспериментов с моделью. Значительное внимание уделено маркерам СОК, таким как: степенные распределения в спектrogramмах сигналов (в частности, розовый шум), степенные законы распределения вероятностей, степенные закономерности в вариационных рядах и в зависимостях «ранг – размер».

**Ключевые слова:** самоорганизованная критичность, степенные распределения, розовый шум, модель Снеппена, история, социогуманитарные науки, институты.

### **Задачи**

Цель статьи – рассмотреть эвристические возможности самоорганизованно-критической модели Снеппена для имитации

---

<sup>1</sup> Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-06-00082а «Применение теории самоорганизованной критичности для изучения и моделирования социальных систем и исторических процессов».

социо-политических институциональных трансформаций. Однако приложение той или иной СК-модели к изучению некоторой социальной системы имеет смысл лишь в том случае, если удалось идентифицировать состояние самоорганизованной критичности (СОК) в данной системе. Поэтому значительное внимание мы уделим степенным распределениям как маркерам критичности.

## Подходы теории СОК

Состояние критичности подразумевает, что даже микроравневые события могут иметь всеобщие для системы последствия. Причинно-следственные волны затухают не достаточно быстро и могут, поэтому, охватить всю систему. Волны накладываются – иногда усиливая, а иногда ослабляя друг друга. Причем, в некоторых случаях системы демонстрируют способность самоорганизовываться, самонастраиваться в критическое состояние. При этом параметры систем изменяются в режиме розового шума ( $1/f$ -шума).

Розовый шум – это фрактальный процесс, для которого свойственна масштабная инвариантность [1]. П. Бак так описывает розовый шум: «Здесь есть изменения всех размеров: быстрые, происходящие за несколько минут, и медленные, длиющиеся 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» [2, с. 68-69].

Системы в состоянии критичности, как правило, переживают взрывообразные изменения – лавины. Розовый шум и, затем, лавины возникают под влиянием микроуровневых процессов. Теория СОК претендует на то, чтобы дать универсальное объяснение природы розового и иных эффектов СОК.

## **Простые модели сложного мира**

В центре нашего внимания – простые самоорганизованно-критические модели, которые демонстрируют фундаментальные закономерности. Такие модели иногда называют игрушечными, но, несмотря на уничижительное название, они позволяют рассмотреть именно базовые свойства и сценарии поведения изучаемых систем. Причем, как правило, простые модели оказываются пригодными для имитации весьма широкого круга различных объектов, которые бывают не схожи по внешним признакам.

Простые модели представляют собой генерализированное отображение того или иного феномена, лишенное ряда деталей. И в этом смысле простые модели представляют собой не идеально точное отображение социо-политической реальности. Модель это функционирующее в качестве компьютерной симуляции обобщение нескольких факторов – обобщение, которое в таком виде может использоваться и в обобщениях более высокого порядка, и для создания более конкретных моделей. Размышляя о «философии простых моделей», П. Бак пишет: «Прежде, чем задаться вопросом о том, сколько деталей нужно добавить к нашему описанию, чтобы оно хорошо воспроизводило известные факты, мы спрашиваем о том, чем можно пожертвовать, не потеряв существенных качественных черт» [2, с. 87].

Называя подобный подход мягким моделированием, А.В. Подлазов отличает его от жесткого моделирования как попытки «построения подробных исчерпывающих моделей каких бы то ни было сложных явлений». «Пределом упрощения, – пишет он, – здесь [при мягкому моделировании] служит лишь сохранение каких-либо существенных черт поведения реальных систем (причем, заранее, вообще говоря, нельзя указать, каких именно)... Еще одним доводом в пользу мягкого моделирования является то, что [оно позволяет] ... фундаментальной науке... рассуждать на темы, традиционно относимые к наукам гуманистическим... Однако в этих областях существует принципиальное противоречие между недостаточной строгостью их языка, с одной стороны, и необходимостью формального вывода следствий

и сопоставления их с реальностью – с другой. Путем преодоления этого противоречия и является мягкое моделирование, служащее источником образов и аналогий, которые могут конкретизировать базовые понятия рассматриваемой дисциплины, обрисовывать взаимосвязь между ними и служить основанием для философских обобщений. То есть вместо того, чтобы говорить обо всем подробно, но не строго, появляется возможность высказывать строгие суждения общего плана, лежащие в рамках одной теории, одного круга представлений, которые можно проверять, развивать и соотносить с реальностью, – по крайней мере, в главном» [3, с. 5, 6].

## **Самоорганизованная критичность и степенные распределения**

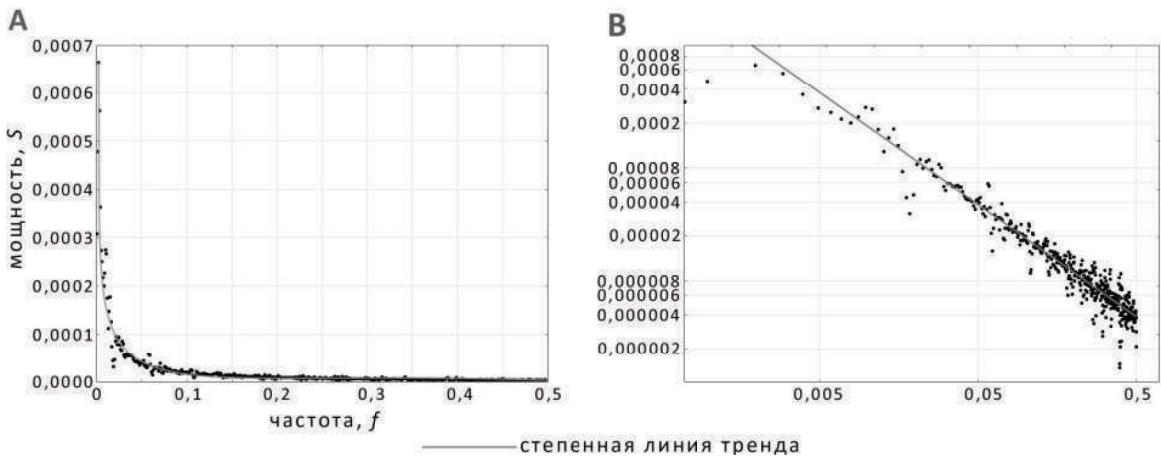
СОК существенно связана со степенными распределениями, которые представляют собой «отпечаток пальцев» критичности. Причем, степенные законы можно обнаружить как при анализе динамики основных параметров СК-систем, так и при анализе результатов процессов самоорганизации.

Рассмотрим разнообразные воплощения СОК в степенных распределениях.

### *1. Степенной тренд в спектрограмме розового шума.*

Для идентификации розового шума используется спектральный анализ. Посредством быстрого преобразования Фурье сигнал разлагается на несколько гармоник – простых сигналов с постоянной частотой и амплитудой. В спектрограмме, обычно, по оси  $x$  указывается частота конкретной гармоники, а по оси  $y$  – ее мощность, которая пропорциональна квадрату амплитуды. Сложный сигнал состоит из множества гармоник, которые на спектрограмме представляются как совокупность точек.

Если в этой совокупности точек на спектрограмме четко прослеживается степенной тренд (рис. 1), то показатель степенного закона позволяют идентифицировать процесс как розовый или красный (коричневый) шум, или выдвинуть гипотезу о наличии белого шума.



**Рис. 1.** Спектограмма одного образца розового шума в линейных координатах (А) и в логарифмических координатах, где гипербола выглядит как прямая линия (В).

Степенная линия тренда определяется формулой (1), где  $f$  – это частота,  $S$  – мощность,  $\alpha$  – показатель степенного закона:

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

От величины  $\alpha$  зависит наклон прямой в спектограмме (рисунок 1В). Если  $\alpha \approx 1$ , то это розовый шум. Если  $\alpha \approx 2$ , то шум считается красным. Если  $\alpha \approx 0$ , то прямая параллельна оси  $x$ . Такой сигнал, возможно, является белым шумом. Поскольку для идентификации белого шума требуются обширные данные и специальные тесты, то на основании  $\alpha$  можно говорить лишь гипотетически о наличии белого шума в данных.

## 2. Степенные законы распределения вероятностей (СЗРВ).

Наличие степенных закономерностей в результатах спектрального анализа, очевидно, связано с тем, что в СК-системах вероятность ( $u$ ) событий в зависимости от их некоторой характеристики  $x$  (например, размера) также имеет степенной вид [4, с. 31]:

$$u(x) \sim \frac{1}{x^{1+\beta}} \quad (2)$$

Эта формула означает, что вероятность некоего события убывает при возрастании его характеристики. Например, крупные политические события, в которые вовлечены многие люди – революции, восстания, гражданские войны – происходят с меньшей вероятностью, нежели малолюдные события – демонстрации, пикеты, стычки с полицией и пр. «Безнаказанно отрезать хвост [такого] распределения – пишет Г.Г. Малинецкий, – нельзя, так как из-за медленного убывания плотности крупные события оказываются недостаточно редки, чтобы их вероятностью можно было пренебречь (в отличие, как правило, от распределений по Гауссу – Д.Ж., Ю.М.)» [4, с. 31].

Вероятность события, если она подчинена СЗРВ, зависит не только от его размера, но и от величины  $\beta$ . Есть основания полагать, что для СК-систем величина  $\beta$  находится в окрестностях 1, то есть показатель степенного закона в формуле (2) – около 2. Это довольно распространенное явление в природе и обществе [3, с. 45-46, 85-86].

Представляет интерес тот факт, что  $\beta = 1$  разделяет СЗРВ с разными свойствами. «...При  $\beta < 1$  сумма всех значений из некоторой выборки, – пишет А.В. Подлазов, – ...по порядку величины совпадает с максимальным из них, и соответственно, основной вклад в выборочное среднее вносит сравнительно небольшое число крупнейших значений. Если же  $\beta > 1$ , то основной вклад в среднее и в сумму, напротив, вносит основная масса малых значений» [3. с. 44-45].

Эта математическая закономерность имеет, полагаем, множество социальных толкований. Так, мы можем представить все трансформационные явления (реформы, революции, «отдельные подвижки» и пр.) в определенной стране как совокупность событий, каждое из которых имеет формальную характеристику – величину изменений, произведенных этим событием. Общая трансформация страны на некотором отрезке времени является суммой всех изменений, произведенных всеми таковыми событиями. Если страна как система функционировала на этом временном отрезке в режиме СОК, то следует предположить, что распределение вероятности событий в зависимости от их

характеристики (например, огромные трансформации, средние трансформации, малые, мельчайшие...) будет иметь вид степенного закона с  $\beta \approx 1$ .

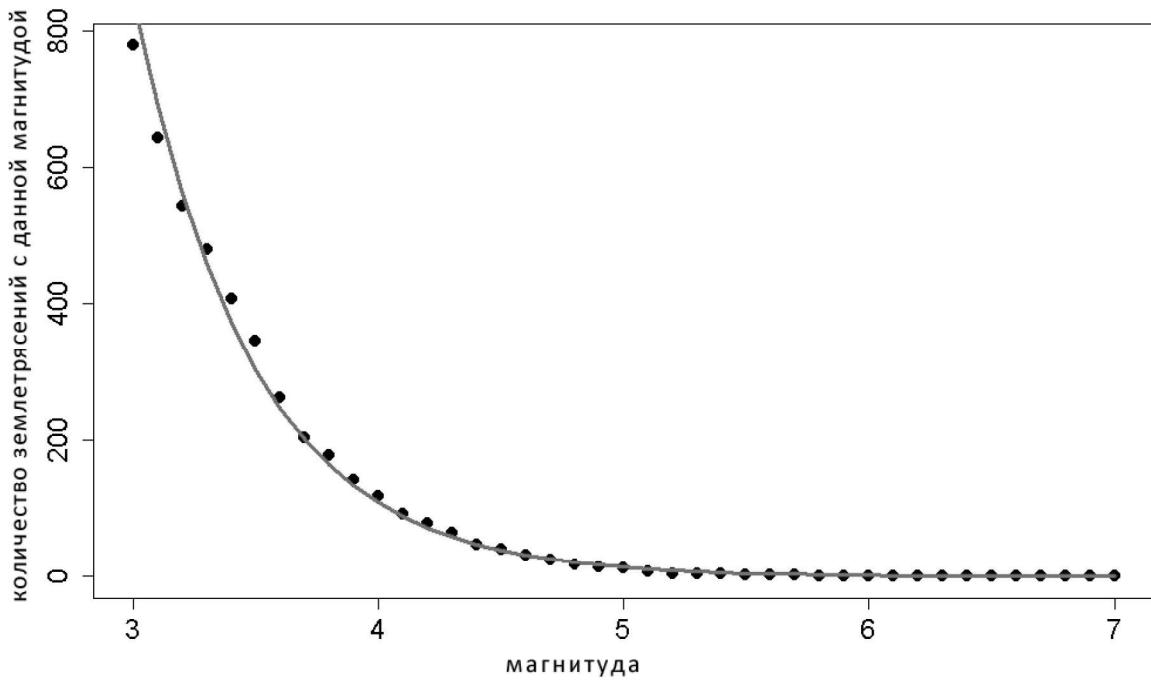
Если бы было верно  $\beta < 1$ , то развитие страны зависело бы от революций (немногочисленных событий с высокой трансформационной характеристикой). А если бы имело место  $\beta > 1$ , то страна развивалась бы под воздействием, главным образом, «небольших шагов и малых дел» – многочисленных мелких трансформаций, – то есть эволюционно. Страны в режиме СОК, имея  $\beta \approx 1$ , находятся в пограничной области между эволюционным и революционным сценариями развития.

### *3. Степенные распределения в вариационных рядах и в зависимостях «ранг – размер».*

Довольно часто результатом процессов в системах является совокупность объектов или событий. Эти объекты/события на основании величины некоего их свойства  $x$  (например, сила землетрясения или численность жителей города) можно разделить на несколько групп. Установив численность объектов/событий в каждой группе (то есть построив вариационный ряд), можно, в некоторых случаях, получить степенное распределение.

Так, сильных землетрясений происходит мало, средней силы – среднее количество, а слабых – много, совсем слабых – очень много. Пожалуй, самым известным является степенной закон распределения силы и количества землетрясений (закон Гутенберга – Рихтера), графическое выражение которого представлено на рисунке 2. Широко известны также закон Ципфа, закон Парето, которые могут быть сформулированы аналогичным образом.

Рассмотренные выше закономерности могут быть представлены в виде «ранг-размер». Для этого «расставим в ряд» все исследуемые события/объекты в порядке убывания величины их свойства  $x$  (будем именовать это свойство размером). Каждому объекту в ряду может быть присвоен порядковый номер – ранг –  $r$ .



**Рис. 2.** Закон Гутенберга – Рихтера, пример данных с линией подгонки. Источник изображения: Open Mind. Science, Politics, Life, the Universe, and Everything. URL: <https://tamino.wordpress.com/2012/04/07/gutenberg-richter/>

Если в какой-либо системе вероятность того или иного события или появления того или иного объекта задается формулой (2), то зависимость «ранг – размер» также является степенным законом [4, с. 32]:

$$x(r) \sim \frac{1}{r^\gamma} \quad (3)$$

Причем, показатели  $\beta$  (2) и  $\gamma$  (3) соотносятся следующим образом:

$$\beta\gamma = 1 \quad (4)$$

Анализ распределений в эмпирических данных (вычисление показателей степенного закона), таким образом, позволяет с высокой (хотя и не абсолютной) точностью диагностировать критическое состояние систем.

Широкое распространение в природе и обществе СК-систем и сопутствующих им степенных распределений заставляет с ос-

торожностью относиться к утверждавшемуся в социогуманистических науках представлению о том, что все выборки – если они корректно сделаны и являются репрезентативными – должны соответствовать нормальному распределению.

Нормальное распределение возникает, очевидно, в результате воздействия на систему множества случайных независимых факторов; тогда как степенные распределения возникают в системах с обратной причинно-следственной связью, в частности в СК-системах. Например, рост людей распределяется нормально: в вариационном ряду «число людей в группах, сформированных по росту» мы обнаружим характерное колоколообразное распределение. Людей среднего роста существенно больше, чем очень высоких и очень низких. На рост существует множество не связанных друг с другом факторов. Однако, например, на размер богатства людей влияют пять обратных связей. Богатые, делая инвестиции и владея средствами производства, имеют возможность приумножить свое состояние существенно быстрее, нежели бедные. Соответственно, богатство и, вслед за ним, власть и влияние сосредотачиваются в руках немногих, тогда как большая часть населения наделены ими в минимальных количествах. Собственно, на этих эффектах и основывается закон Парето.

Игнорирование степенных распределений в социальных науках приводит не только к необоснованной выбраковке некоторых статистических данных, но и к принципиальному искажению представлений о процессах, происходящих на границе порядка и хаоса, то есть в трансформирующихся системах и в переходные периоды. К таким процессам могут (хотя и не обязательно) относиться некоторые революции и восстания, массовые протестные движения, институциональные коллапсы, распространение новых идей и социальных новаций и многое другое.

### **Обнаруживается ли СОК в социальных процессах?**

В зарубежной литературе есть образцы приложения теории СОК к исследованию конкретных социальных явлений [5; 6; 7; 8; 9; 10; 11]. Подобных публикаций немного, что контрастирует с огромным количеством естественных систем и процессов, ко-

торые были изучены и объяснены с применением инструментария СОК.

В России несколько исследователей выступили с теоретико-методологическими инициативами, предусматривающими распространение представлений о нелинейности в социогуманистичном предметном пространстве [4; 12; 13; 14; 15; 16].

Коллектив Центра фрактального моделирования ([ineternum.ru](http://ineternum.ru)) несколько лет занимается идентификацией СОК в социальных процессах (исторических и современных) и качественной интерпретацией соответствующих систем. Выявление типа шума позволяет типизировать социальные системы и диагностировать потенциал для всплесков активности. Розовый шум был обнаружен нами в крестьянских волнениях в ряде российских губерний во второй половине XIX века, в городских бунтах в некоторых регионах России в 1917-1918 годах [17; 18], а также в динамике террористической активности во многих странах мира [19].

Изменение цвета шума является хорошим индикатором для выявления силы, направления и времени трансформации социальной системы. Так, розовый шум был обнаружен в некоторых российских локальных историко-демографических данных. Причем, как оказалось, если для XIX века показатель степенного закона был в районе 0,5, то в XX веке для изученных нами поселений он возрос приблизительно до 1. Мы связываем это изменение с демографическим переходом и введением практик регулирования рождаемости и смертности [20]. Известно, что розовый шум характерен для развитых рынков. Поэтому обнаруженнное нами изменение показателя в динамике цен на рожь в XVIII-XIX веках в России можно использовать для уточнения периода формирования единого общеноционального рынка [21].

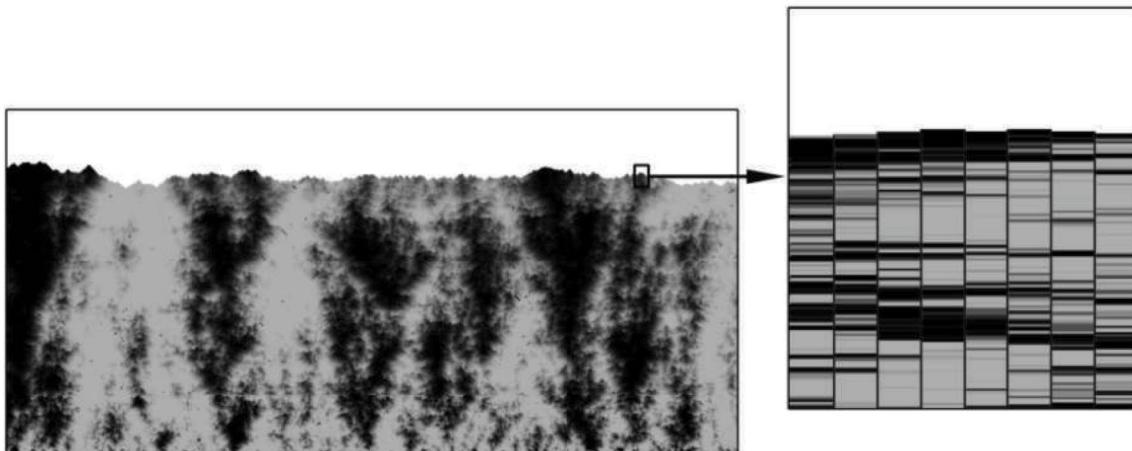
Эффекты СОК, как было показано в наших работах, можно обнаружить в активности протестных сообществ в социальных сетях. Розовый шум в сетях связан с информационными лавинами – он предшествует и сопровождает массовые уличные акции, цветные революции. Подобные наблюдения сделаны для событий в Бразилии в период импичмента президента Дилмы Русеф [22] и для событий т.н. Энергомайдана в Армении. Пребывание сетевых сообществ в состоянии СОК, по нашим на-

блюдениям, делает их более открытыми к социальным новациям и превращает в своего рода каналы для распространения соответствующих идей и практик [23].

Констатация того факта, что некоторые социальные системы в течение некоторых периодов функционируют в режиме СОК, открывает возможности применять для их изучения СК-модели.

### Компьютерные эксперименты с моделью Снеппена

Модель Снеппена является одним из вариантов модели формирования и роста поверхности, в частности – образования твердого тела при осаждении. Эта модель представляется весьма недооцененной в социогуманитарных науках и, в то же время, одной из самых многообещающих. Модельное пространство имитирует упомянутый физический процесс – рисунок 3. Модель, являющаяся одной из самых ранних СК-моделей, опубликована довольно давно [24]. Детально она изучена в диссертации А.В. Подлазова. Также значительный интерес представляет рассмотренная А.В. Подлазовым ее модификация – модель гекатонхейров [3, с. 95-100].



**Рис. 3.** Работа модели Снеппена. Результат численного эксперимента, поставленного с помощью облачной программы на сайте Центра моделирования живых систем в Институте Нильса Бора Копенгагенского университета. URL: <http://cmol.nbi.dk/>. Пояснение: более темные участки соответствуют наростам, которые возникли благодаря «погоне за лидерами».

Имеется некоторая подложка (в простом случае – одномерная), разделенная на участники, на которые столбиками (одна над другой) осаждаются условные молекулы вещества. Каждый участок, таким образом, имеет некоторое значение – высота столбика, то есть количество молекул, которые его составляют. В ходе работы модели на каждом шаге выполняется поиск самого низкого столбика; и он получает приращение +1. «На языке клеточных автоматов, – пишет А.В. Подлазов, – шум [гауссов шум – флуктуации скорости осаждения] можно учесть, связав с каждой точкой пространства значение  $f(x, h)$  [где  $h$  – высота столбика,  $x$  – участок], которое интерпретируется как цепляющая сила, мешающая движению поверхности. Поэтому при моделировании для освобождения (то есть для приращения – Д.Ж.) выделяется участок с минимальным значением  $f$  как испытывающий наименьшее противодействие» [3, с. 89].

Если – в результате приращения – для какого-либо соседнего столбика нарушается условие Кима-Костерлица, то этот соседний столбик также получают приращение. Условие Кима-Костерлица (условие ограниченности градиента) сводится, в данном случае, к тому, что модуль разницы в высотах приращенного столбика и соседнего должен быть менее или равен 1 [3, с. 88, 90]. Физический смысл этого условия заключается в выравнивании наиболее сильных перепадов высот (градиентов) поверхности при осаждении. Таким образом, если какой-либо участок стал чрезмерно возвышаться над соседними, то они тоже подтягиваются вверх. Если условие Кима-Костерлица будет вновь нарушено, это может привести к росту других соседей и даже исходного участка. Если условие Кима-Костерлица не нарушается, подъем кластера прекращается. На следующем шаге программа вновь ищет самый низкий участок и увеличивает его значение. Так, над изначальной поверхностью происходят несколько подъемов/приростов, захватывающих разное количество участков и имеющих разную толщину – поверхность как бы движется вверх скачками разных масштабов.

Эвристическая продуктивность модели Снеппена в социогуманитарной сфере обусловлена тем, что она, полагаем, может

имитировать механизмы трансформации институтов в самом общем смысле.

В последние десятилетия институционализм в качестве фундаментальной теории занял лидирующие (иногда доминирующие) позиции в экономике, социологии, истории, политологии [25; 26]. В трудах Д. Норта [27] институты рассматриваются как устойчивые правила игры – разделяемые и поддерживаемые людьми принципы и нормы взаимодействия. Смена институтов требует совместной воли и действий акторов, что само по себе труднодостижимо в условиях неполной информированности акторов о мнениях, позициях, намерениях и возможностях друг друга. Социальные институты, поэтому, инертны, склонны к медленному эволюционному развитию; однако в отдельных случаях возможна их скоротечная трансформация – революция.

Значительная часть социальных трансформаций является, с точки зрения институционализма, ничем иным как преобразованием правил социо-политической игры – деструкцией прежних соглашений и устоявшихся норм и установлением новых. Механизмы смены (разрушения и замещения) институтов являются наиболее интересным и продуктивным вопросом институционализма.

Модель Снеппена позволяет проследить институциональную трансформацию (смену норм, позиций, мнений, ценностей, практик – всех правил игры) в режиме СОК. Значения участков – представления отдельных людей – должны быть в определенной мере ровным, схожими, находящимися в согласии, чтобы институт функционировал. Представления о правилах игры (поверхность осаждения) стремятся от одного равного уровня (соглашения по поводу института) к другому.

Изменение института – возрастание поверхности до нового уровня – зависит, с одной стороны, от изменения (или замены) наиболее архаичных, отстающих членов сообщества. Это обстоятельство лишь на первый взгляд кажется странным. В практической жизни люди взаимосвязаны; практики и нормы взаимодействия обладают вязкостью: все участниками того или иного института зависят друг от друга, поскольку поддерживают правила игры.

Вязкость институтов, в данном контексте, подразумевает, что правила функционирования и позиции игроков, условию продвинутых, зависят от уровня/позиции наиболее консервативного игрока. Хороший – хотя и весьма узкий – пример подобного свойства институтов: развитие компетенций сотрудников корпорации, взаимосвязанных деловыми процессами. Отдельный сотрудник сам по себе может быть сколь угодно высококомпетентным, но, даже если он занимает руководящий пост, в его практической деятельности может быть воплощен лишь тот уровень компетентности, на котором находится самый отсталый из сотрудников. Выбытие наиболее архаичных элементов – «ликвидация аутсайдеров» – в подобных организациях формирует динамику.

С другой стороны, условие Кима-Костерлица таким образом применено в модели Снеппена, что оно обуславливает важную роль новаторов в трансформации институтов: если кто-либо слишком выдвигается вперед (переходит к новым нормам, представлениям и практикам), то непосредственное окружение также вынуждено принимать новые правила игры. Это «погоня за лидерами».

Полагаем, к описанному типу относится большая часть институтов – правил социальной игры. Участники не могут или опасаются нарушить их, поскольку знают, что проиграют, поскольку некоторые игроки останутся на прежних позициях. И в то же время, участники не могут или не желают оставаться на прежних позициях, если знают, что кто-то получил преимущество за счет освоения социальных новаций.

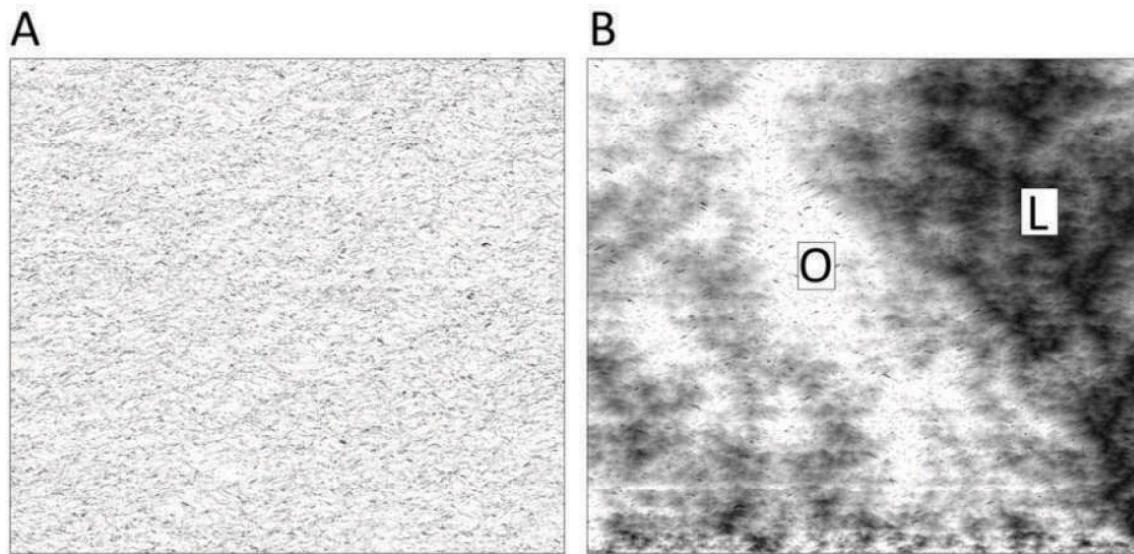
Драйвером изменений в модели Снеппена является, с одной стороны, «погоня за лидерами», а с другой стороны – «ликвидация аутсайдеров». Диалектика модели Снеппена придает ей универсальность при описании институциональной динамики. Та же самая диалектика генерирует критичность, которая проявляется во множестве трансформационных скачков разных размеров, перемежающихся с застоями и лавинами-революциями.

Компьютерные эксперименты с этой моделью мы провели посредством облачной программы, размещенной на сайте Цен-

тра моделирования живых систем (при Институте Нильса Бора Копенгагенского университета, URL: <http://cmol.nbi.dk/>).

Вычислительные эксперименты с моделью основывались на следующих соображениях. Близкие к нулю величины параметра вариативности приводят к образованию обширных относительно гомогенных кластеров/участков, возникших в результате действия условия ограниченности градиента. С институциональной точки зрения такую ситуацию можно интерпретировать как разделение сообщества на две среды, одна из которых трансформируется в логике «погони за лидером» и быстро переходит к новым институтам, а другая – изменяется посредством «ликвидации аутсайдеров». При существенном отклонении параметра вариативности от 0, кластеры обоих типов малы, смешаны и образуют относительно гетерогенное пространство со слабой мерой разделенности.

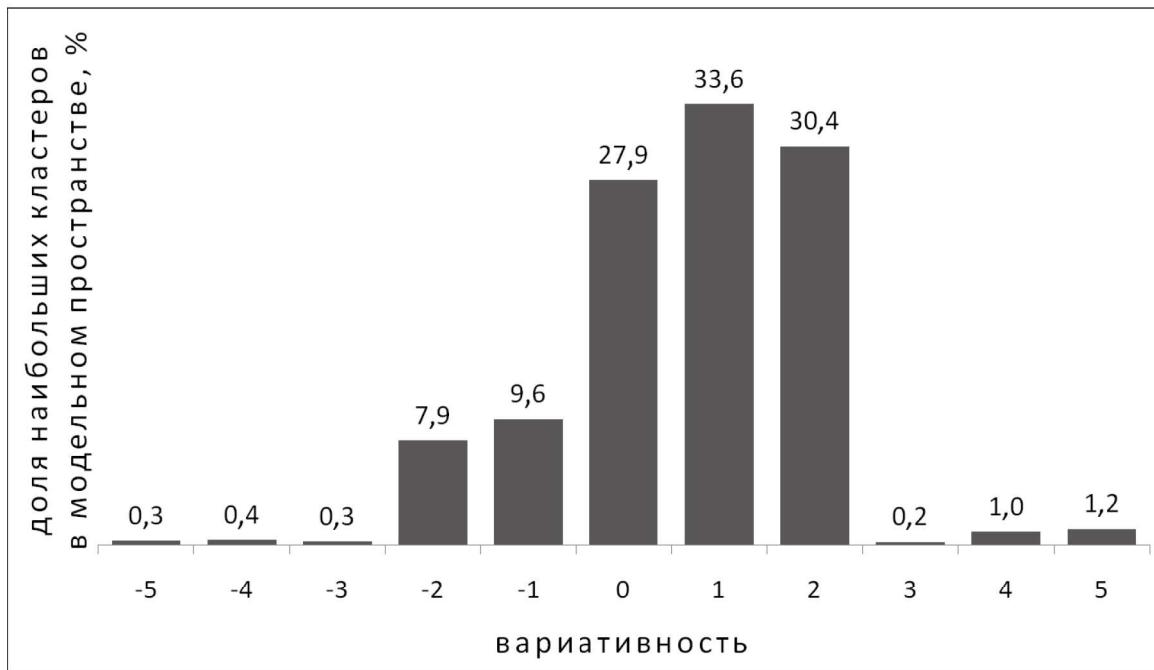
На рисунке 4 представлены результаты двух экспериментов, демонстрирующих (A) смешанное сообщество с высоким показателем вариативности и (B) разделенное сообщество с околонулевым показателем вариативности.



**Рис. 4.** Результаты работы модели Снеппена с показателем вариативности 5 (А) и 1 (В).

Мы проследили закономерность воздействия вариативности на меру разделенности общества, вычислив долю модельного

пространства, которая занята двумя наиболее крупными гомогенными кластерами разных типов (например, на рисунке 4В кластеры L и O). Были проведены 40 экспериментов, которые показали, что мера разделенности скачкообразно возрастает в диапазоне вокруг нуля вариативности – рисунок 5. Причем, скачек настолько выражен, что качественные интерпретации можно сделать без более точного определения разброса данных.



**Рис. 5.** Результаты экспериментов с моделью Снеппена. Средняя доля модельного пространства, занятого двумя наиболее крупными кластерами при разных величинах вариативности. *Пояснение:* все параметры экспериментов (кроме вариативности) оставались постоянными: size=500; color=-1; line dist.=1; preselect=0.

Околонулевую вариативность в данном контексте можно трактовать как высокую меру обязательности «правил игры» для разных членов сообщества – как высокую степень развитости средств принуждения к одинаковым представлениям и практикам (будь то консерватизм или новаторство). Результаты моделирования демонстрируют парадоксальную ситуацию: сильное стремление сообщества к унификации отдельных членов приводит к разделению самого общества на разнотипные группы, трансформирующиеся в разной логике. Однако такой вы-

вод представляется парадоксальным лишь на первый взгляд: развитые средства унификации более успешно применяются в масштабах отдельных групп/кластеров, нежели всего сообщества; в результате возникает большая возможность для обособления групп.

## Заключение

Проведенные эксперименты не исчерпывают всех возможностей модели Снеппена для имитации социальных явлений. Если говорить в целом об использовании теории СОК и СК-моделей за пределами физики, то в литературе можно отметить два основных лейтмотива. Первый лейтмотив – выявление СОК в сетях различной природы: нейронных, социальных, электрических и прочих. Ключевые эффекты СОК – например, самопроизвольное возникновение лавин, инициированных маломощными импульсами – оказываются весьма распространенными в сетях. Соответственно, теория СОК представляется удобным исследовательским инструментом для развития столь популярной сейчас сетевой парадигмы [28].

Второй лейтмотив – риск дестабилизации разнообразных систем: физических, биологических, социальных и прочих. Возрастание разного рода рисков – от вооруженных конфликтов до блэкаутов – важнейшая современная проблема. Исследователи все чаще приходят к заключению, что понимание генезиса этих рисков может возникнуть благодаря теории СОК.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Mandelbrot B.B. The Fractal Geometry of Nature. New York: W.H. Freeman and Company, 1982. 468 p.
2. Бак П. Как работает природа: теория самоорганизованной критичности. М.: УРСС, 2014. 276 с.
3. Подлазов А.В. Новые математические модели, методы и характеристики в теории самоорганизованной критичности: дис. ... канд. ф-м. наук. М.: Ордена Ленина Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, 2001. 120 с.

4. Малинецкий Г.Г. Чудо самоорганизованной критичности. Вступительная статья // Бак П. как работает природа: Теория самоорганизованной критичности. М.: УРСС, 2014. С. 13-46.
5. Turcotte D.L., Rundle J.B. Self-organized complexity in the physical, biological, and social sciences // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2002. Vol. 99. Issue 1. P. 2463-2465.
6. Brunk G.G. Why Do Societies Collapse? A Theory Based on Self-Organized Criticality // Journal of Theoretical Politics. 2002. Vol. 14. Issue 2. P. 195-230.
7. Roberts D.C., Turcotte D.L. Fractality and Self-Organized Criticality of Wars // Fractals. 1998. Vol. 6. Issue 4. C. 351-358.
8. Cederman L.-E. Modeling the Size of Wars: From Billiard Balls to Sandpiles // American Political Science Review. 2003. Issue 1. P. 135-150.
9. Biggs M. Strikes as Forest Fires: Chicago and Paris in the Late Nineteenth Century // American Journal of Sociology. 2005. Vol. 110. Issue 6. P. 1684-1714.
10. Picoli S., Castillo-Mussot M. del, Ribeiro H.V., Lenzi E.K., Mendes R.S. Universal Bursty Behaviour in Human Violent Conflicts // Scientific Reports. 2014. Vol. 4. P. 1-3.
11. Shimada I., Koyama T. A theory for complex system's social change: an application of a general 'criticality' model // Interdisciplinary Description of Complex Systems. 2015. Vol. 13. № 3. P. 342-353. DOI: 10.7906/indecs.13.3.1
12. Бородкин Л.И. Бифуркции в процессах эволюции природы и общества: общее и особенное в оценке И. Пригожина // Информационный бюллетень ассоциации История и компьютер. 2002. № 29. С. 143-157.
13. Бородкин Л.И. Методология анализа неустойчивых состояний в политико-исторических процессах // Международные процессы. 2005. Т.3. № 7. С. 4-16.
14. Бородкин Л.И. Моделирование исторических процессов: от реконструкции реальности к анализу альтернатив. Санкт-Петербург: Издательство Алетейя, 2016. 304 с.
15. Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г., Подлазов А.В. Историческая динамика. Взгляд с позиций синергетики // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. 2004. № 85. С.1-16. URL: [http://keldysh.ru/papers/2004/prep85/prep2004\\_85.html](http://keldysh.ru/papers/2004/prep85/prep2004_85.html) (дата обращения: 26.06.2017).
16. 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.

17. Жуков Д.С., Канищев В.В., Лямин С.К. Исследование интенсивности крестьянских волнений в Европейской России во второй половине XIX в. средствами теории самоорганизованной критичности // Историческая информатика. 2017. № 1. С. 38-51. DOI: 10.7256/.2017.1.22145
18. Zhukov D.S., Kanishchev V.V., Lyamin S.K. Social Movements Viewed in the Context of Self-Organized Criticality Theory // Acesso Livre. 2017. Issue 8. P. 75-91.
19. Жуков Д.С. Эвристические возможности теории самоорганизованной критичности в исследовании террористической и экстремистской активности // PolitBook. 2016. № 1. С. 6-26.
20. Zhukov D.S., Kanishchev V.V., Lyamin S.K. Application of the Theory of Self-Organized Criticality to the Investigation of Historical Processes // Sage Open. 2016. Vol. 6. Issue 4. DOI: 10.1177/2158244016683216.
21. Жуков Д.С., Канищев В.В., Лямин С.К. Мизис Ю.А. Опыт изучения истории российского хлебного рынка средствами теории самоорганизованной критичности // Историческая информатика. 2015. № 1. С. 59-72.
22. Жуков Д.С., Лямин С.К. Революции в Сети: приложение теории самоорганизованной критичности к изучению протестных движений // Историческая информатика. 2017. № 4. В печати.
23. Жуков Д.С., Барабаш Н.С. Распространение новаций в социальных сетях: взгляд с позиции теории самоорганизованной критичности // Инноватика и экспертиза. 2017. № 4. В печати.
24. Sneppen K. Self-organized pinning and interface growth in a random medium // Physical Review Letters. 1992. Vol. 69. Issue 24. С. 3539-3542.
25. Панов П.В. Институты и институциональные практики: проблема концептуализации // Вестник Пермского университета. Серия: Политология. 2010. № 4. С. 34-47.
26. Панов П.В. Институционализм(ы): объяснительные модели и причинность // Полис. Политические исследования. 2015. № 3. С. 39-55.
27. Норт Д. Институты, институциональные изменения и функционирование экономики. М.: Фонд экономической книги «Начала», 1997. 180 с.
28. Сморгунов Л.В. Сетевой подход к политике и управлению // Полис. Политические исследования. 2001. № 3. С. 103-112.

**POWER-SERIES DISTRIBUTION AND SELF-ORGANISED CRITICALITY IN SOCIAL AND ACADEMIC PROBLEM SPACE: IDENTIFICATION, MODELLING AND INTERPRETATION**

**Zhukov Dmitry Sergeevich**, G.R. Derzhavin Tambov State University, Tambov, Russian Federation, PhD, associate professor of the International Relations and Political Science Department, ineternatum@mail.ru

**Movchko Julia Igorevna**, G.R. Derzhavin Tambov State University, Tambov, Russian Federation, programmer, fellow at the Center of fractal simulation, ineternum@mail.ru

The paper demonstrates the heuristic possibilities of the theory of self-organized criticality (SOC) and the Sneppen model for studying of socio-political institutional transformations. The article contains the results of computer experiments with the model. The authors present power laws as markers of criticality.

**Key words:** self-organized criticality, power laws, pink noise, the Sneppen model, history, socio-humanities, institutions