

УДК 008.2

Моделирование истории цивилизаций на основе самоорганизованной критичности

Д. В. Бельков, Е. Н. Едемская

Донецкий национальный технический университет, Донецк

belkovdv@list.ru

Аннотация

С целью повышения качества исторического прогнозирования за счет моделирования динамики цивилизаций выполнен анализ истории цивилизаций и предложена модель на основе самоорганизованной критичности. Показано, что для всех изучаемых процессов зависимость длительности процесса от уровня цивилизации является степенной. Результаты вычислительного эксперимента подтверждают режим прерывистого равновесия в динамике цивилизаций и пребывание глобальной цивилизации в состоянии самоорганизованной критичности.

Введение

Важная задача теоретической истории состоит в том, чтобы история превратилась из описательной науки в область знания, обладающую предсказательной силой, способной давать исторический прогноз. Современные политические решения меняют не только политические, экономические, технологические траектории стран. Они способны необратимо изменить историческую траекторию, возможное будущее человечества. Если раньше речь шла о новой и новейшей истории, то сейчас нужно говорить о приближении к порогу сверхновой истории или постистории XXI века. Поэтому возникает проблема исторического прогноза и развития новой области междисциплинарных исследований – математической истории [1].

Идеи математического моделирования в истории развиваются на историческом факультете МГУ им. М.В. Ломоносова. В вычислительном центре Академии наук более тридцати лет назад по инициативе академика Н.Н. Моисеева начаты работы по исследованию исторических процессов на основе имитационного моделирования и теории исследования операций. Идеи синергетики при моделировании исторических процессов были использованы Германом Хакеном и другими немецкими учеными. Особого упоминания заслуживают работы П.В. Турчина (Коннектикутский университет, США) за их фундаментальный вклад в развитие математического моделирования исторической динамики. Однако, несмотря на длительный процесс исследований, проблема математического моделирования в истории остается актуальной.

Любое развитие в природе и в обществе проходит через похожие фазы. В истории движение по циклу понимается как движение по

спирали, повторение подобных, но неодинаковых фаз в поступательном движении. Цикличность исторической динамики не имеет стройной математической определенности, подобно циклам движения небесных тел или смене дня и ночи. Закономерности цикличной динамики социальных систем действуют как тенденции, имеют неожиданные отклонения и трудно поддаются предвидению.

Феномен повторяемости, подобности объектов самой различной природы получил название фрактальности. Свойство выглядеть в любом, сколь угодно мелком масштабе примерно одинаково называется масштабной инвариантностью (самоподобием), а множества, которые им обладают, называются фракталами. Благодаря фрактальному анализу процесса, в событиях прошлого, кажущихся случайными и труднообъяснимыми, удастся проследить универсальные системные механизмы. Фрактальные модели исторических процессов могут оказаться принципиально важными для анализа мировой динамики и стратегического планирования. История человечества как феномен самоподобна, и это ее свойство дает возможность исследовать общие закономерности исторического процесса [2].

Известно, что многие сложные системы самоорганизуют себя таким образом, чтобы оказаться в критическом состоянии. Нормальным состоянием для них является не стационарное состояние, а состояние самоорганизованной критичности, в котором структуры системы приобретают свойство масштабной инвариантности, становятся самоподобными. Состояние самоорганизованной критичности представляет собой набор метастабильных критических состояний, переходящих друг в друга посредством процессов самоорганизации. Самоподобие исторического процесса делает актуальной

разработку его модели на основе самоорганизованной критичности.

Целью данной статьи является повышение качества исторического прогнозирования за счет моделирования истории цивилизаций на основе самоорганизованной критичности.

Задачи работы:

- анализ истории цивилизаций;
- создание модели истории цивилизаций на основе самоорганизованной критичности.

В нелинейной динамике разработано три парадигмы. В рамках первой было показано, что в открытых нелинейных системах вдали от равновесия происходит самоорганизация. При этом возникают пространственно-неоднородные стационарные структуры, которые И.Р. Пригожин предложил называть диссипативными. Либо возникают периодические или непериодические колебания, которые называются автоволновыми процессами.

Во второй парадигме основное внимание было уделено динамическому хаосу – сложному непериодическому поведению в простейших детерминированных системах. Установлено существование горизонта прогноза – конечного времени, через которое динамический прогноз поведения системы становится невозможен. Были описаны универсальные сценарии перехода от простого движения к хаотическому при изменении внешнего параметра.

В основе этих парадигм лежат представления о самоорганизации, т.е. о выделении из большого, а иногда бесконечного числа переменных, описывающих систему, небольшого числа величин, называемых параметрами порядка, к которым на больших временах подстраиваются остальные степени свободы системы. Однако сложность системы предполагает наличие свойств, отсутствующих у составляющих ее частей. Это означает не только выделение параметров порядка из числа старых переменных, но и формирование в процессе самоорганизации новых.

Кроме того, обе парадигмы не вполне соответствуют интуитивным представлениям о катастрофичности – системы, где образуются стационарные или подвижные структуры, слишком регулярны, чтобы в них происходило что-то неожиданное, а хаотические системы слишком богаты событиями, чтобы на этом фоне могло случаться что-то экстраординарное.

Третья парадигма нелинейной динамики основана на понятии самоорганизованной критичности (СОК). Теория СОК призвана объяснить такие явления, как фликкер-шум, степенные законы распределения, прерывистое равновесие.

Прерывистое равновесие заключается во вспышках высокой активности, прерывающих

состояние относительного покоя, когда ее уровень низок или равен нулю. Причем в длительности интервалов между вспышками, а зачастую и в их амплитуде не прослеживается никаких явных правил. Прерывистое равновесие характерно для многих областей, таких как биологическая эволюция, гидродинамика, сейсмология, экономика и др.

Несмотря на универсальность этого явления, до недавнего времени для него не существовало общей теории, хотя в рамках отдельных дисциплин оно либо получало частные объяснения (гидродинамика), либо воспринималось как данность (теория биологической эволюции), в то время как общность его конкретных проявлений – землетрясений и кризисов – интуитивно ясна [3].

Анализ истории цивилизаций

Высшим элементом в структуре общества является цивилизация, объединяющая все человечество, находящееся на определенной ступени развития, или его крупную составную часть. Цивилизации не всегда совпадают с границами государства. Главное в цивилизации – определенная система ценностей, выработанная и подкрепленная историческим опытом, общими или близкими условиями существования и развития. Цивилизации можно рассматривать в трехмерном пространстве–времени:

– *глобальная цивилизация* – часть человечества, достигшая уровня цивилизационного развития и проходящая определенные фазы жизненного цикла;

– *локальные цивилизации* – важнейшие составные части глобального сообщества, различающиеся по системе цивилизационных ценностей, условиям обитания и деятельности, историческому опыту;

– *мировые цивилизации* – крупные этапы развития глобальной цивилизации. Их можно представить, как циклы поколений локальных цивилизаций, эпохи в развитии человечества как единой мегасистемы.

Каждый из видов цивилизаций выполняет свою функцию в процессе формирования и динамики цивилизаций. На начальном этапе возникает узкое поле глобальной цивилизации. Оно постепенно расширяется, происходит его разделение на локальные цивилизации. С течением времени их число возрастает, а состав в общем историческом потоке динамики глобальной цивилизации меняется. Система цивилизаций непрерывно эволюционирует, периодически происходят качественные скачки в ее развитии, находящие выражение в смене мировых цивилизаций и поколений локальных цивилизаций.

Каждая цивилизация имеет свой жизненный цикл. Он состоит из нескольких стадий:

- *зарождение* (в недрах предшествующего общества);
- *становление* (распространение в пространстве и совершенствование по структуре);
- *зрелость* (полная реализация присущего ей потенциала);
- *кризис* (упадок, освобождение места следующей цивилизации);
- *реликтовое состояние* (пребывание в остаточном состоянии на следующем этапе развития общества).

Цивилизационный подход к истории и будущему человечества является составной частью интегрализма. Он основывается на том, что цивилизационный этап в развитии человечества начался с неолитической революции и ритм исторического процесса находит выражение в периодической смене исторических суперциклов, мировых цивилизаций, поколений локальных цивилизаций. В отличие от интегрализма, либерализм и марксизм представляют будущее как полную реализацию и окончательное торжество исповедуемых ими идеалов – либо капиталистической рыночной экономики и буржуазной демократии, либо унифицированного, преодолевшего все социальные различия, коммунистического общества. Согласно концепции интегрализма, циклы и кризисы, периодическая смена исторических суперциклов, мировых цивилизаций и поколений локальных цивилизаций сохраняются столько, сколько будет существовать человеческое общество. Будут возникать новые вызовы времени, и необходимость давать на них адекватные ответы, сохранится цивилизационное разнообразие. В будущем риски модифицируются, но не исчезнут, и людям придется их минимизировать [4].

Глобальная цивилизация разворачивается во времени через смену мировых цивилизаций. Их отсчет ведется со времени неолитической революции, становления производящего хозяйства и постепенного усложнения структуры общества. Со временем сменяли друг друга неолитическая, раннеклассовая, античная, средневековая, раннеиндустриальная и индустриальная мировые цивилизации. В конце XX века начала формироваться постиндустриальная цивилизация, и этот ритм продолжится в будущем.

Следует отметить еще одно изменение глобальной цивилизации во времени – смену исторических суперциклов, объединяющих триаду родственных мировых цивилизаций и

одно или два поколения локальных цивилизаций. Суперциклы – это самый большой из элементов временной динамики цивилизаций. Первый исторический суперцикл (конец IV тыс. до н.э. – середина I тыс. н.э.) объединил неолитическую, раннеклассовую и античную мировые цивилизации и соответственно первое и второе поколения локальных. Второй исторический суперцикл (VI–XX вв.) включил в себя средневековую, раннеиндустриальную и индустриальную мировые цивилизации, т.е. третье и четвертое поколения локальных. Третий суперцикл начинается в XXI веке, пока известны лишь его первые ступени – постиндустриальная мировая цивилизация и пятое поколение локальных цивилизаций.

Со временем цивилизационное пространство расширялось, связи между отдельными локальными цивилизациями углублялись и крепились. Этому способствовало развитие транспортных путей и появление новых средств транспорта. Единство пространственно-временной динамики цивилизаций можно представить в виде *спирали цивилизационного прогресса*, показанной на рис. 1. Витки спирали расширяются в пространстве и изменяются во времени.

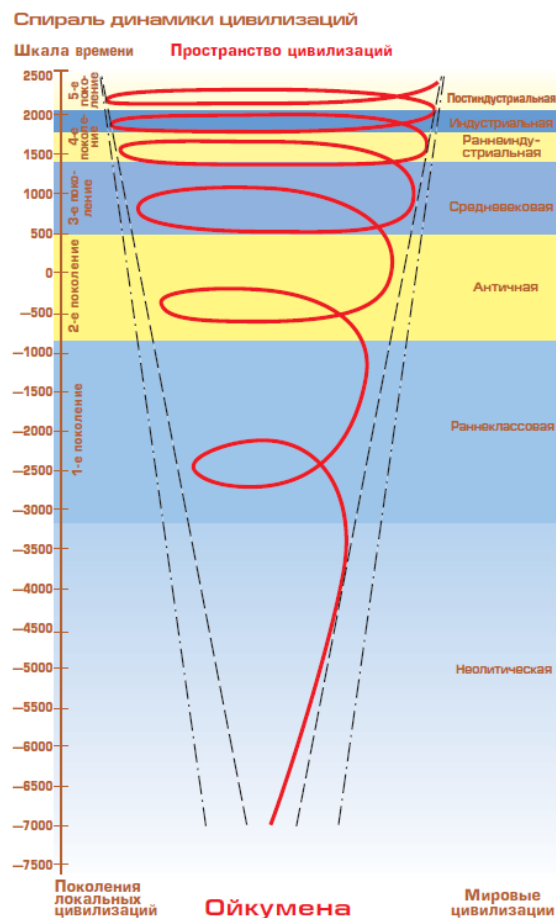


Рисунок 1 – Спираль динамики цивилизаций

Первый виток спирали охватывает жизненный цикл неолитической цивилизации. По продолжительности он самый большой – включает (в эпицентре) более четырех с половиной тысячелетий.

Второй виток начался со второй половины IV тыс. до н.э., когда сложилось первое поколение локальных цивилизаций, возникли классы, государство, право, частная собственность, рынок. Была создана система мировых и локальных цивилизаций, хотя охватывали они небольшую часть ойкумены (около 15–20%).

Третий виток включает время преобладания античной мировой цивилизации и второго поколения локальных цивилизаций, когда их ареал расширился до 35% ойкумены, возникли первые мировые империи. Это пик развития первого исторического суперцикла.

Переход к *четвертому витку* спирали (средневековой мировой цивилизации и третьему поколению локальных) был тяжелым и длительным, поскольку совпал со сменой исторических суперциклов. Начала формироваться западноевропейская цивилизация, укрепилось господство мировых религий в духовной и политической сферах.

Старт *пятого витка* цивилизационной спирали совпадает с переходом человечества к раннеиндустриальной мировой цивилизации, мануфактурному, технологическому способу производства, развитию промышленного капитала, формированию буржуазной демократии как политического строя. Сформировалось четвертое поколение локальных цивилизаций.

Вершина второго исторического суперцикла была достигнута на *шестом витке* цивилизационной спирали, в период индустриальной мировой цивилизации, расцвета, а затем и заката четвертого поколения локальных цивилизаций. Промышленная революция преобразила технологическое и экономическое пространства, многократно ускорила темпы экономического роста, что стало одним из факторов стремительного роста населения. XX столетие отметилось серией национально-освободительных революций, распадом системы империализма и мировой системы социализма, уничтожением биполярного мироустройства. Планету захлестнул глубокий цивилизационный кризис, связанный с завершением второго исторического суперцикла.

На рубеже XXI века начинается *седьмой виток* цивилизационной спирали, который, вероятно, охватит пространство двух столетий и приведет к радикальному преобразованию глобальной цивилизации в начале третьего исторического суперцикла [4].

В данной статье спираль динамики цивилизаций ставится в соответствие спиральной структуре процесса эволюции. Известно [5], что эволюцию можно рассматривать как последовательность процессов самоорганизации. Общая схема процесса эволюции, показанная на рис. 2, сводится к следующему:

- метастабильное n -е состояние эволюции утрачивает устойчивость из-за появления нового элемента в динамической системе;
- неустойчивость, обусловленная новым элементом, запускает динамический процесс, который приводит к дальнейшей самоорганизации системы, система порождает новые упорядоченные структуры.
- по завершении процесса самоорганизации эволюционная система переходит в эволюционное состояние $(n + 1)$, после n -го эволюционного цикла начинается новый $(n + 1)$ -й эволюционный цикл.



Рисунок 2 – Общая схема процесса эволюции

Известно [6], что ход исторического процесса носит неравномерный, волнообразно-спиралевидный характер. В истории человечества периоды сравнительно плавного, замедленного, инерционного, предсказуемого развития, когда значительные исторические события происходят сравнительно редко и не несут радикальных перемен, время от времени сменяются периодами кризисов и революций. Такая пульсация истории носит всеобщий характер.

Между смежными мировыми цивилизациями и между суперциклами лежат переходные периоды, которые характеризуются кризисом и отмиранием отживающей системы, рождением новой, усилением хаотичности, неупорядоченности исторического процесса. В этот период распадаются империи и государства, происходят войны, ухудшаются условия жизни людей, падает эффективность воспроизводства, нарастают элементы разложения в культуре, морали, идеологии. Однако из хаоса постепенно рождается новая упорядоченность, выражающая содержание очередной цивилизации.

Переходные периоды выпадают из обычных рамок периодизации исторических эпох. Они несут на себе отпечаток как уходящей, так и приходящей цивилизации, их противоборства. Это время неустойчивости, стремительной смены исторических событий, возможность рецидивов прошлого.

Такое чередование метастабильных и неустойчивых переходных периодов, показанное на рис. 3, рис. 4 соответствует явлению прерывистого равновесия. Понятие прерывистого равновесия является центральным в динамике сложных систем. В концепции комплексного подхода к изучению истории развитие цивилизаций происходит посредством прерывания устойчивого равновесия, когда люди реагируют на изменяющиеся условия и в конечном счете прорываются через пределы, наложенные на них социальными пространствами [7].

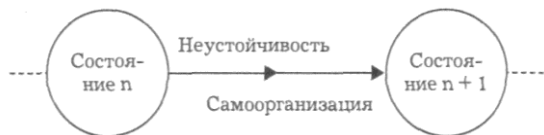


Рисунок 3 – Чередование метастабильных и неустойчивых переходных периодов



Рисунок 4 – Пример прерывистого равновесия

Прерывистое равновесие в истории мировых цивилизаций показано в табл. 1.

Таблица 1 - Прерывистое равновесие в истории мировых цивилизаций

История цивилизаций	Примечание
Доисторическая эпоха	
Мезолит. VII–VI тысячелетие до н.э.	Предыстория цивилизаций
Переходный период от мезолита к неолиту. VI тысячелетие до н.э.	«Мезолитическая катастрофа»
Историческая эпоха	
Первый исторический суперцикл	
Неолитическая цивилизация. VI – IV тыс. до н.э.	Первая цивилизация
Переходный период от неолита к бронзовому веку	Кризис неолитической цивилизации

Раннеклассовая цивилизация. III – II тыс. до н.э.	Вторая цивилизация
Переходный период от бронзового к железному веку.	«Катастрофа бронзового века»
Античная цивилизация. VIII век до н.э. – V век н.э.	Третья цивилизация
Переходный период от античности к средневековью	«Катастрофа Рима»
Второй исторический суперцикл	
Средневековая цивилизация. VII – XIV вв.	Четвертая цивилизация
Переходный период к раннеиндустриальной цивилизации	Кризис средневековой цивилизации
Раннеиндустриальная цивилизация. XVI – XVIII век	Пятая цивилизация
Переходный период к индустриальной цивилизации	Кризис раннеиндустриальной цивилизации
Индустриальная цивилизация. XIX–XX вв.	Шестая цивилизация
Переходный период от индустриальной к постиндустриальной цивилизации	Кризис индустриальной цивилизации
Постисторическая эпоха	
Третий исторический суперцикл	
Постиндустриальная цивилизация	Седьмая цивилизация

Модель истории цивилизаций на основе самоорганизованной критичности

Известно [8], что в теории СОК прерывистое равновесие формализуется как фрактальный процесс, например, волна, по которой идут мелкие волны, а по ним, в свою очередь, – мельчайшая рябь, и т.д. В динамике цивилизаций подобные волны показаны на рис. 5, где П1, П2, П3 – стадии подъема на фазах становления, зрелости и упадка цивилизации [9].

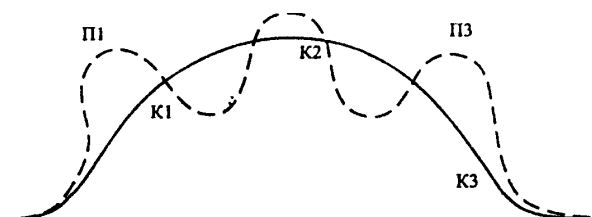


Рисунок 5 – Траектория динамики цивилизации

В режиме прерывистого равновесия периоды относительного покоя системы наполнены на самом деле слабыми и средними колебаниями (событиями), которые в некоторых случаях либо не фиксируются в наблюдениях, либо не воспринимаются исследователями как значимые явления. Для объяснения прерывистого равновесия может быть использована теория СОК. Ее базовой моделью является куча песка. Будем предполагать сцепление между песчинками достаточно большим. При этом возможно лишь поверхностное перемещение песка, причем инерцией его движения можно пренебречь. В таком случае состояние системы полностью определяется наклоном поверхности. В тех местах, где локальный наклон оказывается больше порога устойчивости, происходит осыпание песчинок вниз по склону на соседние участки поверхности (лавины). Как показано на рис. 6, состояние песка определяется углом наклона поверхности u . При его изменении происходит фазовый переход от неподвижного состояния к состоянию непрерывного тока песка.

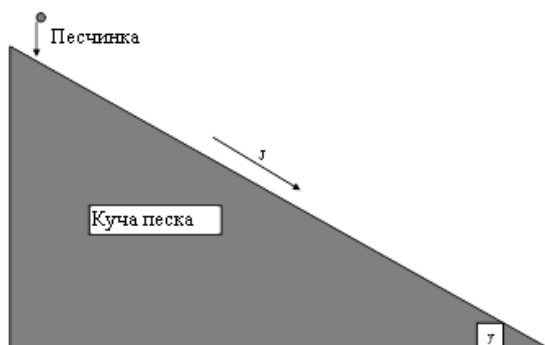


Рисунок 6 – Куча песка

При токе, соответствующем добавлению одной песчинки за один шаг, система самоорганизуется в состояние с критическим наклоном $u = u_c$. Если средний наклон поверхности u меньше чем u_c , то песок неподвижен. Если наклон превышает значение u_c , возникает спонтанный ток песка J по поверхности. Возникает фазовый переход, в котором управляющим параметром является наклон u , а параметром порядка – ток песка J . Критическое значение наклона u_c разделяет хаотическую ($u < u_c$) и упорядоченную ($u > u_c$) фазы. Обе эти фазы соответствуют состоянию системы устойчивому к малым возмущениям. В хаотической фазе они еще быстро затухают во времени и пространстве, а в упорядоченной – уже не могут существенно влиять на величину тока. И только в критической точке, одна добавленная песчинка может вызывать лавину. В песчаной куче существует много областей

неустойчивости, но критическое состояние является устойчивым. Такие характеристики тесно связаны с фракталами.

Самым простым вариантом модели кучи песка является одномерная модель Бака-Танга-Вайзенфельда (BTW-1D). В ней рост уровня слоев управляется правилами (1), где z_i – количество песчинок, содержащихся в слое i .

$$\begin{aligned} z_{i+1} &= z_{i+1} + 1, z_i - z_{i+1} > z_c \\ z_i &= z_i + 1, z_i - z_{i+1} \leq z_c \end{aligned} \quad (1)$$

Модель кучи песка основана на динамическом равновесии двух противоположных процессов. Первый – это естественный путь развития элементов системы (увеличение локального наклона кучи), второй направлен на отбраковку элементов, продвинувшихся слишком далеко (осыпание песка). Равновесие процессов развития и отбраковки достигается в критической точке, где события едва происходят, и система приобретает целостные свойства.

Важным свойством системы, обладающей масштабной инвариантностью, является степенная зависимость между ее параметрами, например частотой и масштабом событий. Если E – масштаб лавин и f – их частота, то $f \sim E^{-b}$, где b – масштабный коэффициент [10].

Одной из областей, где теория самоорганизованной критичности позволила добиться успеха при моделировании процесса, является биологическая эволюция. Объектом эволюции является вид, представляющий собой группу особей, упорядоченных по возрастанию приспособленности к условиям окружающей среды. Приспособленность видов изменяется в результате двух различных процессов. Во-первых, переход от одной особи к соседней особи увеличивает приспособленность вида, и он поднимается выше по эволюционному ландшафту. Этот процесс можно назвать мутацией особей. Во-вторых, переход от одного вида к другому обеспечивает связь между видами. В результате такой мутации видов изменяется эволюционный ландшафт. Течение эволюции существенно зависит от соотношения скоростей этих процессов.

Если виды не связаны между собой, то изменение приспособленности происходит за счет мутаций особей. При этом каждый вид быстро достигает локального максимума эволюционного ландшафта, где останавливается, не имея возможности достичь более высоких состояний. Таким образом, на неизменном ландшафте быстро достигается состояние, в котором эволюция не идет. Если виды связаны сильно, то раньше, чем вид достигнет локального максимума ландшафта, этот максимум успевает

исчезнуть, поскольку ландшафт быстро изменяется. Экосистема оказывается в состоянии, где приспособленность забывается и мутация особей, направленная на адаптацию к постоянно меняющемуся окружению, оказывается тщетной. По этой причине эволюция невозможна. Чтобы избежать остановки эволюции экосистема должна самоорганизоваться в критическое состояние, которое разделяет эти две крайности, т.е. в точку фазового перехода между ними. Здесь виды могут эволюционировать к большей приспособленности, используя как мутации особей, так и мутации видов.

В критическом состоянии экосистема демонстрирует прерывистое равновесие. Она совмещает в себе черты упорядоченных систем и хаотических, неупорядоченных систем. Интервалы активного межвидового взаимодействия при мутациях видов перемежаются с интервалами активного роста приспособленности за счет мутаций особей [11]. Аналогия модели эволюции видов с моделью BTW-1D показана в табл. 2.

Таблица 2 – Аналогия с моделью BTW-1D

Модель BTW-1D	Модель эволюции видов
Песчинка	Особь
Слой песка	Вид
Накопление песка	Мутация особей
Лавина песка	Мутация видов
Высота кучи песка	Общая накопленная приспособленность
Песчаный ландшафт	Эволюционный ландшафт

Модель истории цивилизаций, предлагаемая в данной статье, построена по аналогии с моделью эволюции видов. Эта аналогия показана в табл. 3.

Таблица 3 – Аналогия моделей

Модель эволюции видов	Модель истории цивилизаций
Особь	Мировая цивилизация
Вид	Суперцикл цивилизаций
Мутация особей	Переходный период от цивилизации к цивилизации
Мутация видов	Переходный период от суперцикла к суперциклу
Общая накопленная приспособленность	Уровень цивилизаций
Эволюционный ландшафт	Ландшафт цивилизаций

В работе выполнен вычислительный эксперимент, показывающий самоорганизацию цивилизаций в соответствии с предлагаемой моделью. Для изучения выбраны хронологические этапы мировых цивилизаций: длительности переходных периодов, этапов становления, зрелости и упадка. Результат эксперимента показан на рис. 7. Для всех процессов зависимость длительности процесса от уровня цивилизации является степенной. Масштабные коэффициенты показаны в табл. 4.

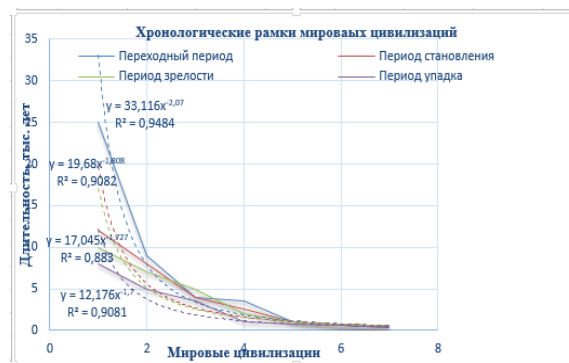


Рисунок 7 – Результат эксперимента

Таблица 4 – Масштабные коэффициенты

Цивилизационные этапы	Масштабный коэффициент	R^2
Переходные периоды	2,07	0,9484
Становление	1,808	0,9082
Зрелость	1,727	0,883
Упадок	1,7	0,9081

Выводы

С целью повышения качества исторического прогнозирования за счет моделирования динамики цивилизаций выполнен анализ истории цивилизаций и предложена модель на основе самоорганизованной критичности. Показано, что для всех изучаемых процессов зависимость длительности процесса от уровня цивилизации является степенной. При проведении вычислительного эксперимента получены следующие результаты: переходные периоды имеют масштабный коэффициент $b=2,07$ при $R^2 = 0,9484$, для этапов становления масштабный коэффициент $b=1,808$ ($R^2 = 0,9082$), для этапов зрелости масштабный коэффициент $b=1,727$ при $R^2 = 0,883$, для этапов упадка масштабный коэффициент $b=1,7$ ($R^2 = 0,9081$). Результаты вычислительного эксперимента подтверждают гипотезу о режиме

прерывистого равновесия в динамике цивилизаций и пребывании глобальной цивилизации в состоянии самоорганизованной критичности.

Литература

1. История и математика: Макроисторическая динамика общества и государства / Отв. ред. С. Ю. Малков, Л. Е. Гринин, А. В. Коротаев. – Москва, 2007. – 184 с.
2. Ефимчук, И. В. Фрактальность истории. // Общественные науки и современность, 2010. - № 5. - С. 146–156.
3. Подлазов, А. В. Теория самоорганизованной критичности – наука о сложности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.nonlin.ru/articles/podlazov/soc>
4. Кузык, Б. Н. Цивилизации: теория, история, диалог, будущее. / Б. Н. Кузык, Ю. В. Яковец. – Москва, 2008. – Том. V. - 576 с.
5. Самоорганизация – источник и основа эволюции. - Режим доступа: <https://studme.org>

/147963/matematika_himiya_fizik/samoorganizatsiy_a_istochnik_osnova_evolyutsii

6. Голубин, Р. В. История мировых цивилизаций. Хрестоматия. / Р. В. Голубин, А. С. Сорокин, А. П. Коротышев. – Нижний Новгород, 2014. – 272 с.
7. Раков, В. М. История мировых цивилизаций. – Пермь, 2018. – 105 с.
8. Жуков, Д. С. Прерывистое равновесие: взгляд с позиции теории самоорганизованной критичности. - Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/preryivstoe-ravnovesie-vzglyad-s-pozitsii-teorii-samoorganizovannoy-kritichnosti>
9. Яковец, Ю. В. Исторические циклы. - Режим доступа: <http://ss.xsp.ru/st/008/>
10. Курдюмов, С. П. Историческая динамика. Взгляд с позиции синергетики. / С. П. Курдюмов, Г. Г. Малинецкий, А. В. Подлазов // Общественные науки и современность, 2005. - № 5. - С. 118–125.
11. Бак, П. Как работает природа. Теория самоорганизованной критичности. – Москва, 2013. – 276 с.

Бельков Д.В., Едемская Е.Н. Моделирование истории цивилизаций на основе самоорганизованной критичности. С целью повышения качества исторического прогнозирования за счет моделирования динамики цивилизаций выполнен анализ истории цивилизаций и предложена модель на основе самоорганизованной критичности. Показано, что для всех изучаемых процессов зависимость длительности процесса от уровня цивилизации является степенной. Результаты вычислительного эксперимента подтверждают режим прерывистого равновесия в динамике цивилизаций и пребывание глобальной цивилизации в состоянии самоорганизованной критичности.

Ключевые слова: история цивилизаций, режим прерывистого равновесия, самоорганизованная критичность, масштабный коэффициент.

Belkov D., Edemskaya E. Modeling the history of civilizations based on self-organized criticality. In order to improve the quality of historical forecasting by modeling the dynamics of civilizations, an analysis of the history of civilizations carried out and a model based on self-organized criticality is proposed. It shown that for all the studied processes the dependence of the duration of the process on the level of civilization is sedate. The results of the computational experiment confirm the regime of intermittent equilibrium in the dynamics of civilizations and the presence of a global civilization in a state of self-organized criticality.

Keywords: history of civilizations, intermittent equilibrium, self-organized criticality, large-scale coefficient.

Статья поступила в редакцию 12.02.2022
Рекомендована к публикации профессором Павлышом В. Н.