

УДК: 141.155.001.5.89

НЕОБРАТИМЫЕ ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ В СЛОЖНЫХ СИСТЕМАХ

Габриелян О. А., Сулейменов И. Э.

Алматинский университет энергетики и связи, г. Алматы, Казахстан

E-mail: esenych@yandex.ru

Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского, г. Симферополь, Российская Федерация

E-mail: gabroleg@mail.ru

В приближении среднего поля рассматривается модель эволюционирующей системы. Показано, что в таких системах могут наблюдаться скачкообразные фазовые переходы. Выявлены условия, при которых такие скачки становятся необратимыми. Показано, что необратимый характер указанных переходов может интерпретироваться как запись распределенной информации в систему в целом. Приведены и осмысленны примеры социальных, политических, культурных, экономических феноменов и процессов, которые описывает предлагаемая математическая модель фазовых переходов. Среднего поля приближение – один из методов приближённого описания эффектов многочастичных взаимодействий в задачах многих тел в квантовой механике и квантовой статистике. Этот метод применяется в тех случаях, когда точное решение задачи отсутствует, а учёт конечного числа членов ряда возмущений теории недостаточен (например, если константа взаимодействия не мала или ряды теории возмущений обладают плохой сходимостью).

Ключевые слова: фазовые переходы, эволюционирующие системы, математическая модель, социальные, культурные, политические, экономические феномены, процессы.

Введение

Проблема необратимости, причем с различных позиций, обсуждалась в литературе по физике в течение продолжительного времени [1; 3]. Так, широко известна дискуссия, связанная с вопросом о симметрии уравнений классической механики относительно операции изменения знака времени, начало которой положили работы И. Пригожина.

В настоящее время данная проблема приобретает новое звучание в связи с попытками построения математических моделей, имеющих приложения для исторических, социальных, экономических процессов, а также феноменов культуры, в частности, с попытками использовать для этой цели результаты, полученные при рассмотрении сложных систем.

Известно, что отмеченные процессы протекают неравномерно; история знает многочисленные примеры качественных скачков, иногда интерпретируемых как культурные, а иногда как технологические революции. К ним можно отнести

социально-политические революции. Наиболее известным примером в данном отношении является возникновение практически всех атрибутов современной цивилизации за очень краткий по историческим масштабам промежуток времени на территории Древней Греции – «греческое чудо» (по терминологии [4]).

Системный кризис современной цивилизации, который на первых этапах возникновения рассматривался как глобальный финансовый кризис [5], делает актуальным вопрос об обратимости скачков, интерпретируемых как культурная/технологическая революция.

Природа качественных скачков (ароморфозов) в культурном и социально-экономическом развитии цивилизации анализировалась в работе [6]. В ней не было сделано попыток построить математическую модель, позволяющую выявить наиболее существенные черты ароморфозов.

Простейший вариант такой модели построен в данной работе, причем показано, что можно указать условия, при которых качественный скачок (ароморфоз) становится необратимым.

Простейшая формулировка модели ароморфозов в сложных системах. Рассматриваемая ниже модель формулируется, в частности, на основе результатов [6, 7]. В работах [9, 10] было показано, что существует механизм эволюции, принципиально отличающийся от известных ранее и восходящий к теории Ч. Дарвина.

В соответствии с этими концепциями считается, что:

– образование нового качества (в биологии – видообразование) носит мутационный (флюктуационный) характер, то есть новые признаки элементов системы возникают вследствие модификации уже существующих (в биологии – мутаций генома) под каким-либо внешним воздействием;

– мутации носят стохастический/случайный характер;

– мутации, интерпретируемые как благоприятные, закрепляются за счет механизма естественного отбора.

Применительно к задачам общей биологии дарвинистская точка зрения позволила, как известно, интерпретировать целую совокупность экспериментальных данных. Однако попытки применить эту концепцию к системам иной природы чаще всего сталкивались с непреодолимыми трудностями.

Весьма наглядную иллюстрацию к характеру таких трудностей можно дать, анализируя эволюцию познания в человеческом обществе, более конкретно, процесс инновационного развития. В этой области исследований случайной мутации можно поставить в соответствие появление нового изобретения (научной идеи, концепции и т. д.). Процессу закрепления мутации, очевидно, ставится в соответствие имплементация соответствующей идеи в общую систему научных знаний (внедрение изобретения в практику и т. д.).

Работы, проведенные в области теории инноваций, в том числе обобщенные в [5], однозначно показывают, что наличия «благоприятного признака», т. е. наличия потенциальной высокой отдачи от внедрения изобретения или имплементации научной идеи, отнюдь не достаточно для того, чтобы они действительно оказались воспринятыми. Известно множество примеров идей и

изобретений, о которых говорят, что они обогнали свое время. Более корректно: такие факторы в настоящее время трактуются через понятие информационного сопротивления общества, на протяжении всей истории человечества почти всегда остававшееся значительным [5].

Периоды истории, в течение которых инновационное сопротивление общества существенно понижалось, являются, напротив, достаточно редкими, вплоть до того, что используются такие термины, как «греческое чудо», технологическая революция и т. д.

Наглядные примеры такого рода показывают, что «благоприятный признак» закрепляется только тогда, когда для этого появились необходимые предпосылки, иначе говоря, модифицировалась сама система, к которой принадлежит элемент – носитель этого признака.

Еще одной проблемой, которую не удастся решить в рамках мутационной интерпретации эволюционных процессов, является крайне неравномерный характер эволюции, что характеризуется специальным термином – ароморфоз (скачкообразные трансформации элементов системы, протекающие практически одновременно).

Это, равно как и оставшиеся неупомянутыми затруднения мутационных теорий эволюции, привело к разработке принципиального нового подхода, альтернативного мутационным теориям эволюции [7].

В соответствии с этим подходом рассматривается эволюция системы. Она предполагает наличие как минимум двух стадий эволюции. На первой стадии трансформируется совокупность связей между элементами системы, а сами элементы остаются практически неизменными. (Данная, латентная, стадия интерпретируется через эволюцию аналога нейронной сети, комплементарной рассматриваемой системе.) На второй стадии осуществляется отбор элементов, в наибольшей степени отвечающих новому состоянию системы.

Данный подход первоначально разрабатывался на основе аналогии между обществом и нейронной сетью. В рамках этой аналогии каждому индивиду в соответствие ставится отдельный нейрон, каналам связи между нейронами – коммуникации между индивидами, а нейронной сети в целом – ноосфера (или социумы, трактуемые как ее относительно самостоятельные фрагменты). Указанный подход можно распространить и на другие системы.

Соответственно, эволюцию сложной системы произвольной природы можно описывать, используя трехуровневую модель, в которой нулевой уровень отвечает системе без связей между элементами, первый – системе, в которой сформированы межэлементные связи, второй (самый высокий) – появлению аналога нейронной сети.

Прежде чем мы предложим математическую модель, описывающую данные феномены и процессы, приведем некоторые дополнительные примеры. Хотелось бы показать, что упомянутые выше примеры «греческого чуда» и теории эволюции Ч. Дарвина не являются некоторыми исключениями. Они яркие и часто упоминаемые, обладают регулярностью, наблюдаемой в эволюции сложных систем, поэтому на определенном этапе развития науки возникает потребность в описании

этих процессов на формализованном языке математической модели. Во-первых, такое описание приобретает наиболее высокий уровень объективности выявленной закономерности. Во-вторых, выявляет фундаментальную связность природных и социальных феноменов и процессов.

Рассмотрим, например, качественный переход государства, занимавшего территорию северной Евразии, в имперское состояние – в Российскую империю. Преобразования Петра I, безусловно, связаны с его харизматичностью, сопровождались насильственными действиями. Осуществленная им модернизация России и позднее политика Екатерины II были бы свернуты, если бы не был запущен механизм построения регулярного государства. По сути, они начали реализовывать концепцию камерализма как теории современного государства. У Петра I это был подход стихийный, основанный на его опыте посещения Европы и пребывания-обучения там. У Екатерины II это была политика продуманных действий. Например, создание уложенных комиссий. Обычное толкование историками этого феномена сводится к тому, что комиссии должны были придать российскому абсолютизму видимость сословно-представительной монархии, что соответствовало мировоззрению Екатерины II как просвещённого монарха. При этом делался вывод о ничтожности реальных результатов их деятельности. На наш взгляд, это не так. Результат не в том, что не был выработан тот или иной документ и он не стал руководством к действию, а в том, что был создан прецедент – представителям различных сословий (их уже помыслили в таком качестве!!!) было предложено подумать о регулярности своего государства. Появились носители идеи.

«К середине XVII века камерализм стал господствующей доктриной и мощной индустрией производства суждения в трех основных областях: организации государственных финансов, системы хозяйствования (Oeconomie) и упорядочивании общества (Polizei). Бесчисленные ученые трактаты и публицистические памфлеты начиная с XVI века распространяли представление о том, что целью правителя является достижение общественного блага всех подданных, а средством к этому является рациональная и благотворная деятельность просвещенных служащих, заседавших в королевских Kammer (членов советов, или коллегий). Наиболее известными продуктами камералистского мышления были экономическая доктрина меркантилизма... и теория административного устройства “gute Polizei” – упорядоченного и правильно управляемого государства. Меркантилизм диктовал политику интенсивной международной торговли с положительным балансом импорта и экспорта... Теория полицейского государства предлагала рационализировать и регулировать все сферы общественных отношений едиными законодательными нормами, исходящими от государя. Возникшая в конце XVIII века концепция “правового государства” критиковала идеал “полицейского государства” за возможность злоупотреблений со стороны законодателя и бесконтрольного административного аппарата – но сама идея единообразного и рационального регулирования общества, впервые возникшая в рамках теории полицейского государства, осталась неизменной» [8, с. 18]. Вот суть эпохи модерна в ее социально-политическом измерении. Внедренная сверху

абстрактная идея «государства» внедрялась в умы подданных, «формировалось представление о чиновнике как служащем этому государству – не из вассального подчинения сюзерену, и не ради корыстного злоупотребления должностью (“кормления”), а с целью внести вклад в общественное благо. Частью этого процесса было распространение идеи политического общества (“нации”) как более фундаментальной категории, чем сословия, – даже в странах с сильными кастовыми традициями. Камерализм стал основой современного, полностью секулярного социального мышления, осмысливающего общественные процессы в категориях частной выгоды, общественного блага, универсальной законности» [8, с. 19].

Россия сумела трансформироваться из «пороховой империи» в регулярное имперское государство. Абсолютизм самодержавия корректировался дворцовыми переворотами, а позднее и революциями. Екатерина II понимала это уже ясно. И ее переписка с французскими просветителями – это не дань моде, а попытка реализовать идеи камерализма в практике построения регулярного государства. Не всем государствам это удалось. Не осуществившими такую модернизацию – «пороховыми империями» – были Речь Посполитая, Османская империя, поэтому они распались. Каждая из них была вполне успешна в определенный исторический период. Но идея регулярного государства была блокирована, не оказалось достаточно количества носителей этой идеи, не сложились соответствующие связи между ними, как результат, процессы не стали необратимыми. В одном случае шляхетство сопротивлялось регулярности государства, в другом эффективные «новые воины» – янычары – встраивались в средневековую систему социальных отношений. Идея регулярного государства не стала воображаемым социальным будущим у различных социальных групп, и такая империя была обречена на поражение.

«Российская империя выступала в качестве средства окончательной “коллективной глобализации” прежде полуизолированных локальных сообществ Северной Евразии, включения их в культуру “современности”, понимаемой как “европейскость”. Таким образом, структурная “имперская ситуация” региона, постоянно перерабатывавшая различия и неравенство при помощи механизмов самоорганизации, получила институциональное воплощение в форме современной империи. Эта империя опиралась не столько на военную силу, универсалистскую культуру или единое экономическое пространство, сколько на механизм современного государства. Точнее, опираясь на все вышеперечисленные “традиционно имперские” факторы, она организовывалась и управлялась при помощи государства как обезличенного социального механизма служения “общему благу”. Не исключено, что нагрузка имперского камералистского государства на население была на несколько порядков меньше, чем вероятная “цена” государства такого же уровня сложности, созданного каждой из бывших “пороховых империй” по отдельности. (Эта гипотеза вытекает из общих социологических моделей функционирования сложных систем и помогает объяснить сравнительно низкий уровень сопротивления имперской экспансии, однако не существует пока исторических исследований, подтверждающих или опровергающих ее)». [8, с. 139]. Сами историки осознают значимость изучения общих социологических моделей

сложных систем. Мы идем немного дальше и предлагаем математическую модель для описания любых сложных систем и фазовых переходов в них.

Не стоит думать, что такие модели могут описывать и объяснять только *postfactum* феномены и процессы далекого прошлого. Мы считаем, что предлагаемый нами подход позволяет эффективно исследовать и текущие социальные, политические, культурные, экономические процессы. Например, феномен евроинтеграции, его состояние и перспективы.

Однако вернемся к нашей модели. Переход от нулевого к первому уровню отвечает появлению устойчивых межэлементных связей, переходы следующего порядка – возникновению аналога нейронной сети. (Вся группа более высоких переходов может в приемлемом приближении рассматриваться как единое целое.) Каждый из уровней характеризуется определенной заселенностью – вероятностью того, что конкретный элемент системы будет находиться именно на нем.

Таким образом, рассматриваемая задача в первом приближении (приближении среднего поля) сводится к описанию динамики переходов между уровнями, которые обладают различными заселенностями.

Запишем соответствующие уравнения переходов в трехуровневой системе:

$$\frac{dN_0}{dt} = -(\alpha_0 N_2 + \beta_0 N_0) N_0 + \frac{1}{\tau_1} N_1 \quad (1)$$

$$\frac{dN_1}{dt} = (\alpha_0 N_2 + \beta_0 N_0) N_0 - (\alpha_1 N_2 + \beta_1 N_1) N_1 + \frac{N_2}{\tau_2} - \frac{N_1}{\tau_1} \quad (2)$$

$$\frac{dN_2}{dt} = (\alpha_1 N_2 + \beta_1 N_1) N_1 - \frac{1}{\tau_2} N_2 \quad (3),$$

где N_k – заселенность уровня k , α_k – коэффициенты, определяющие вероятность перехода на более высокий уровень под воздействием элементов, находящихся на верхнем уровне системы, β_k – коэффициенты, определяющие вероятность перехода на уровень $k+1$ за счет взаимодействия элементов k -того уровня, τ_k – характерное время перехода с уровня k на уровень $k-1$.

Структура записанных уравнений выражает следующие предположения, вытекающие из качественного рассмотрения эволюционного механизма [7]. Первое слагаемое в уравнении (1) определяет частоту переходов из нулевого уровня на первый (образование несистемных связей) под воздействием элементов, находящихся на наиболее высоком уровне. Второе слагаемое в этом уравнении отражает частоту тех же переходов, но обусловленных взаимодействием элементов, находящихся на самом низком уровне. Третье слагаемое – частота обратных переходов, обусловленная спонтанным разрывом связей.

Слагаемые, фигурирующие в правой части уравнения (3), имеют аналогичный смысл, уравнение (2) можно рассматривать как комбинацию соотношений (1) и (3). Тот факт, что индуцированные переходы обусловлены именно элементами, находящимися на самом высоком уровне из рассматриваемых, вытекает

непосредственно из эволюционного механизма [6]. (Элементы системы, которые приобрели новое качество, начинают стимулировать появление подобных себе.)

Представляет интерес проанализировать точки покоя для базовой системы уравнений, введя обозначения

$$k_2 = \frac{N_2}{N_1}, k_1 = \frac{N_1}{N_0}, y_0 = \frac{N_0}{C}, y_1 = \frac{N_1}{N_0}, y_2 = \frac{N_2}{C}, \quad (4)$$

$$\begin{cases} g_{11} = \alpha_0 \tau_1 C & g_{21} = \beta_0 \tau_1 C \\ g_{12} = \alpha_1 \tau_2 C & g_{22} = \beta_1 \tau_2 C \end{cases} \quad (5).$$

Тогда от системы уравнений (1) – (3) несложными преобразованиями можно получить следующую систему алгебраических уравнений

$$(g_{11} k_1 k_2 + g_{21}) y_0 - k_1 = 0 \quad (6)$$

$$(g_{12} k_1 k_2 + g_{22} k_1) y_0 - k_2 = 0, \quad (7)$$

$$y_0(1 + k_1 + k_1 k_2) = 1 \quad (8).$$

Эта система уравнений допускает численное решение сравнительно простыми средствами.

Результаты численного моделирования

На рис. 1 – рис. 4 представлены зависимости заселенности верхнего уровня системы от различных управляющих параметров.

Из рис. 1 видно, что существует диапазон значений управляющих параметров, при которых кривые, описывающие заселенность верхнего уровня системы, становятся S-образными. Точнее при увеличении параметра g_{21} , определяющего вероятность спонтанного образования несистемных связей между элементами нулевого уровня, имеет место плавный переход от монотонной кривой к S-образной.

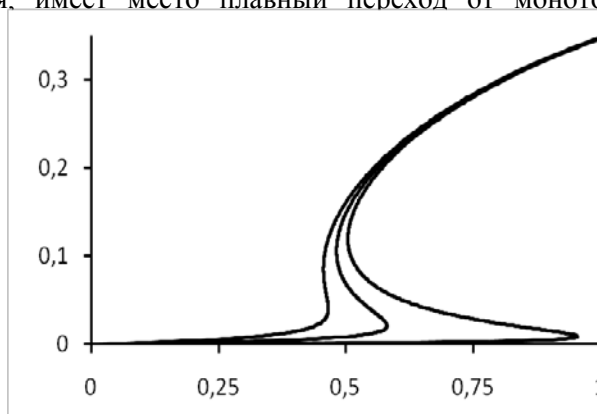


Рис. 1. Зависимость относительной заселенности верхнего уровня y_2 от величины управляющего параметра g_{22} ; $g_{11} = 6,5$, $g_{21} = 0,05$ (1), 0,1 (2), 0,2 (3), $g_{12} = 0,9$.

Следовательно, при достижении определенного критического значения управляющего параметра g_{21} система скачком будет переходить из одного макроскопического состояния в другое. Можно видеть, что даже рассматриваемая простейшая модель обеспечивает появление ароморфозов и это согласуется с выводами [6]. Далее, значения управляющих параметров зависят от полного числа элементов в системе, т. е. рассматриваемые скачкообразные переходы могут иметь место и в силу простого увеличения числа элементов системы. В известном смысле полученный результат может трактоваться как математическое описание перехода из количества в качество.

Рис. 2 иллюстрирует влиянием параметра g_{11} на заселенность верхнего уровня. (Данный параметр определяет частоту индуцированных переходов, связанных с влиянием элементов, находящихся на самом высоком уровне, на образование несистемных связей.)

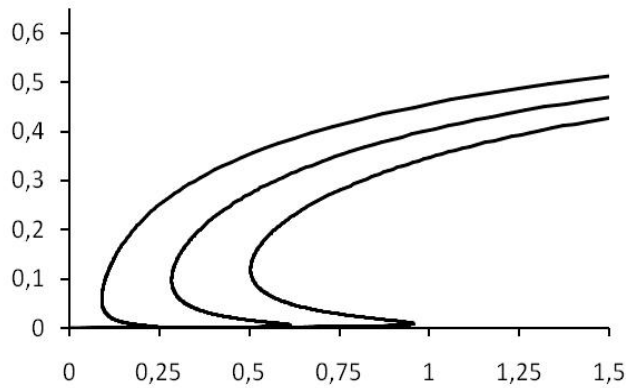


Рис. 2. Зависимость относительной заселенности верхнего уровня y_2 от величины управляющего параметра g_{22} ; $g_{11} = 25$ (1), 10 (2), 6,5 (3), $g_{21} = 0,05$, $g_{12} = 0,9$.

Можно видеть, что при выбранных значениях параметров постепенное увеличение указанного параметра фактически сдвигает рассматриваемые кривые к оси ординат. Сходное поведение обнаруживается и при увеличении параметра g_{12} , рис. 3.

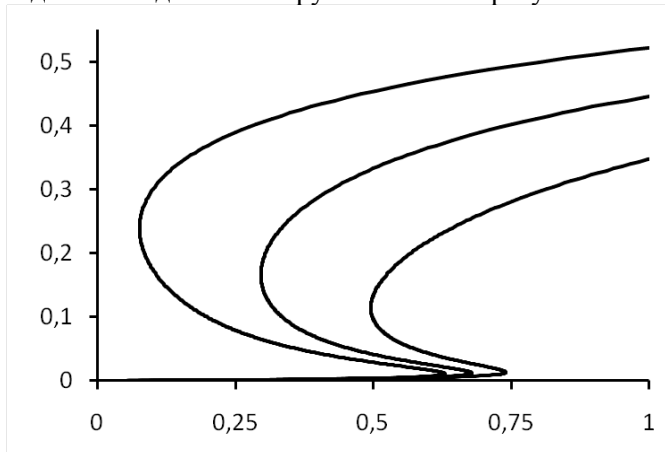


Рис. 3. Зависимость относительной «заселенности» верхнего уровня y_2 от величины управляющего параметра g_{22} ; $g_{11}=6,5$, $g_{21}=0,07$, $g_{12}=2,1$ (1), 1,5 (2), 0,9 (3).

Видно также, что полученные кривые действительно носят S-образный характер, что и свидетельствует о существовании скачкообразных переходов.

Рисунок 1 показывает, что именно параметр g_{21} контролирует переход от режима, в котором имеют место скачкообразные переходы к режиму, в котором изменения носят монотонный характер. Однако, наличие скачков не исчерпывает многообразия рассматриваемой системы. На рис. 4 приведены аналогичные результаты, полученные для несколько других значений параметров. Эти данные показывают, что может реализоваться режим, при котором S-образная кривая частично попадает в область отрицательных значений управляющего параметра.

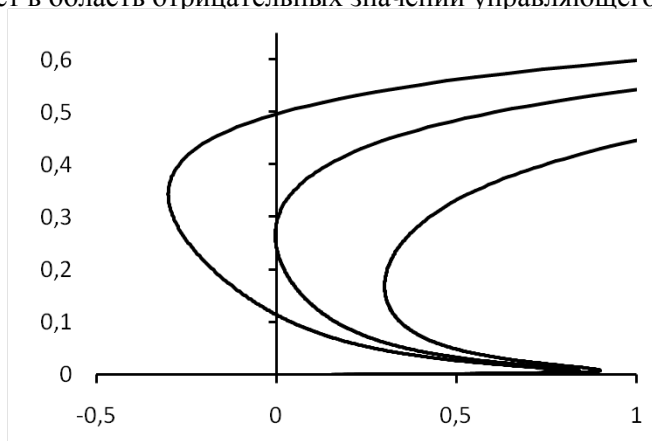


Рис. 4. Зависимость относительной заселенности верхнего уровня y_2 от величины управляющего параметра g_{22} ; $g_{11}=6,5$ (1), 0,1 (2), 0,2 (3), $g_{21}=0,07$, $g_{12}=1,5$.

Такая ситуация означает, что обратный переход к состоянию с низкой заселенностью становится невозможен: эволюция системы рассматриваемого типа приобретает необратимый характер.

Подчеркнем также, что величины всех приведенных управляющих параметров g прямо пропорциональны числу элементов эволюционирующей системы. Следовательно, полученные результаты однозначно показывают, что необратимый характер эволюция может приобретать просто за счет увеличения числа элементов в системе.

Заключение

Таким образом, простейшая формальная модель эволюционирующей системы, построенная на основе новой концепции эволюции сложных систем, предложенной в [7], демонстрирует нетривиальные эффекты. (Следует подчеркнуть, что данные эффекты обнаруживаются даже в наиболее простом приближении среднего поля.)

Во-первых, в системе такого типа имеют место скачкообразные переходы, что позволяет использовать полученные результаты для интерпретации неравномерного развития различных природных и социальных систем. Указанные переходы

сопровождаются гистерезисными явлениями, т. е. обратный переход имеет место при другом значении управляющего параметра, нежели прямой.

Во-вторых, существуют условия, при которых такие переходы приобретают необратимый характер, т. е. формальное значение управляющего параметра, отвечающего обратному переходу, лежит вне физической области определения. Соответствующий переход, принимая во внимание выводы [6], можно трактовать как необратимую запись распределенной информации в среду.

В-третьих, величины управляющих параметров в рассматриваемой модели прямо пропорциональны общему количеству элементов в системе, т. е. наблюдаемые фазовые переходы могут быть обусловлены ростом элементов в системе. Это позволяет рассматривать полученные результаты как проявление диалектического закона перехода количества в качество.

Список литературы

1. Gemmer J., M. Michel, G. Mahler. Quantum Thermodynamics // Lecture Notes in Physics. – 2004. – Vol. 657.
2. Popescu S., A. J. Short, and A. Winter. Entanglement and the Foundations of Statistical Mechanics // Nature Physics. – 2006. – Vol. 2. – Iss. 11. – 754 p.
3. J. Gemmer, A. Otte, G. Mahler. Quantum approach to a derivation of the second law of thermodynamics // Physical review letters. – 2001. – № 86, 1927.
4. Vernant, J. P. Mythe et pensée chez les Grecs. Etudes de psychologie historique. – F. Maspero, 1978. – 229 p.
5. Nanotechnology versus the global crisis / Yergozhin Ye. Ye., Aryn Ye. M., Suleimenov I. E., Mun G. A., Belenko N. M., Gabrielyan O. A., Park N. T., Negim El-S. M. El-Ash., Suleymenova K. I. Seoul, Hollym Corporation Publishers, 2010. – 300 p.
6. Suleymenova K. I. Aromorphoses Phenomenon in the Development of Culture: a View from the Standpoint of Neural Net Theory of Complex Systems Evolution / K. I. Suleymenova, D. B. Shalytkova, I. E. Suleimenov // European Scientific Journal. – 2013 – Vol. 9(19). – P. 840-844
7. Suleimenov I. Non-Darwinists Scenarios of Evolution of Complicated Systems and Natural Neural Networks Based on Partly Dissociated Macromolecules / I. Suleimenov, S. Panchenko // World Applied Sciences Journal. – 2013. – 24 (9). – P. 1141-1147.
8. Герасимов И., Могильнер М., Глебов С. Новая имперская история Северной Евразии. Часть 2. Балансирование имперской ситуации: XVIII–XX вв. – Казань: AbImperio, 2017. – 632 с.
9. Avetisov V.A., Kuz'min V.V., and Goldanskii V.I. Handedness, Origin of Life and Evolution // Physics Today. – 1991. – № 44, 7, 33.
10. Delaye L., Lazcano A. Prebiological evolution and the physics of the origin of life // Physics of Life Reviews. – March 2005. – Volume 2, Issue 1. – pp. 47–64.

Gabrielyan O.A., Suleimenov I.E. Irreversible Phase Transitions in Complex Systems // Scientific Notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Philosophy. Political science. Culturology. – 2017. – Vol. 3 (69). – № 4. – P. 24–34.

In the mean-field approximation, a model of an evolving system is considered. It is shown that in such systems jump-like phase transitions can be observed. The conditions under which such jumps become irreversible are revealed. It is shown that the irreversible character of such transitions can be interpreted as the recording of distributed information in the system as a whole. Examples of social, political, cultural, economic phenomena and processes that describe the proposed mathematical model of phase transitions are given and are meaningful.

Key words: phase transitions; evolving systems; mathematical model; social, cultural, political, economic phenomena, processes.

References

1. Gemmer J., M. Michel, G. Mahler. Quantum Thermodynamics. Lecture Notes in Physics, 2004, Vol. 657.
2. Popescu S., A. J. Short, and A. Winter. Entanglement and the Foundations of Statistical Mechanics. Nature Physics, 2006, Vol. 2, Iss. 11, 754 p.
3. J. Gemmer A. Otte G. Mahler. Quantum approach to a derivation of the second law of thermodynamics. Physical review letters, 2001, № 86, 1927.
4. Vernant J. P. Mythe et pensée chez les Grecs. Etudes de psychologie historique. F. Maspero, 1978, 229 p.
5. Nanotechnology versus the global crisis. Yergozhin Ye. Ye., Aryn Ye. M., Suleimenov I. E., Mun G. A., Belenko N. M., Gabrielyan O. A., Park N. T., Negim El-S. M. El-Ash., Suleymenova K. I. Seoul, Hollym Corporation Publishers, 2010, 300 p.
6. Suleymenova K. I. Aromorphoses Phenomenon in the Development of Culture: a View from the Standpoint of Neural Net Theory of Complex Systems Evolution / K. I. Suleymenova, D. B. Shaltykova, I. E. Suleimenov. European Scientific Journal, 2013, Vol. 9(19), pp. 840-844
7. Suleimenov I. Non-Darwinists Scenarios of Evolution of Complicated Systems and Natural Neural Networks Based on Partly Dissociated Macromolecules I. Suleimenov, S. Panchenko. World Applied Sciences Journal, 2013, 24 (9), pp. 1141-1147.
8. Gerasimov I., Mogil'ner M., Glebov S. [New imperial history of Northern Eurasia]. Part 2. Balancing the imperial situation: XVIII – XX centuries. Kazan: "Ab Imperio", 2017, 632 p.
9. Avetisov V.A., Kuz'min V.V., Goldanskii V.I. Handedness, Origin of Life and Evolution. Physics Today, 1991, № 44, 7, 33.
10. Delaye L., Lazcano A. Prebiological evolution and the physics of the origin of life. Physics of Life Reviews, March 2005, Volume 2, Issue 1, pp. 47–64.