



## «ИСТОРИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА» И НЕЛИНЕЙНАЯ ДИНАМИКА

*Г.Г. Малинецкий*

В работе предлагается развить новый междисциплинарный подход, называемый исторической механикой. Этот подход направлен на анализ не только одной реализовавшейся траектории развития какой-либо цивилизации или этноса, а на анализ поля возможностей, «виртуальных траекторий развития сообществ», точек бифуркации. В работе введен новый класс математических моделей – динамические системы с джокерами, которые могут оказаться полезными при исследовании социальных и исторических процессов. Обсуждается связь теории этногенеза Л.Н.Гумилева и моделей теории самоорганизованной критичности. В настоящее время во многих гуманитарных вузах читаются курсы естествознания с элементами нелинейной динамики. Практика показывает, что эти дисциплины вызывают живой интерес, если гуманитарии видят возможность содержательного диалога между гуманитарной и естественно-научной культурой. Попытка такого диалога и содержится в предлагаемой статье.

### «Внешнее оправдание»

История видится нам ареной страстей и мод, желаний, корыстолюбия, жажды власти, кровожадности, насилия, разрушений и войн, честолюбивых министров, продажных генералов, разрушенных городов, и мы слишком легко забываем, что это лишь один из многих ее аспектов. И прежде всего забываем, что сами мы – кусок истории, нечто постепенно возникшее и осужденное умереть, если оно потеряет способность к дальнейшему становлению и изменению. Мы сами история и тоже несем ответственность за мировую историю и за свою позицию в ней. Нам очень не хватает сознания этой ответственности.

*Г. Гессе. Игра в бисер*

Цель этой заметки – обратить внимание на возможность разработки нового междисциплинарного подхода. Этот подход, по моему мнению, может быть развит на стыке гуманитарных дисциплин, прежде всего истории, и математического моделирования.

А.Эйнштейн, характеризуя физическую теорию, выделял «внешнее оправдание» (проблемы, не укладывающихся в рамки существующей парадигмы) и «внутреннее совершенство» (наличие аппарата, математических инструментов, позволяющих эффективно устанавливать причинно-следственные связи в изучаемой области). Естественно таким же образом взглянуть и на междисциплинарный подход.

Внешним оправданием для его разработки является структура нашего

незнания. В самом деле, посмотрим глазами физиков на шкалу временных масштабов тех процессов, которые определяют жизнь людей:

катастрофы, стихийные бедствия, религиозные конфликты, использование вооруженных сил – дни, недели;

решения политического руководства – недели, месяцы;

изменение стереотипов массового сознания под влиянием средств массовой информации – 1÷3 года;

экономические реформы – 3÷5 лет;

изменение уровня образования, качества подготовки специалистов – 5÷10 лет;

технологические и технические нововведения – 10÷15 лет;

изменение соотношения сил различных государств, эволюция межгосударственных отношений – 20÷50 лет;

этногенез, рождение и развитие новых идеологий, мировых религий и т.д. – сотни лет.

Естественные науки, математическое моделирование в большинстве случаев отвечали на вопрос «Как устроена природа?» Их влияние на жизнь общества в основном было связано с технологическими инновациями. Однако и здесь оказалось, что материальное благополучие гораздо более зависит от организации производства и распределения, чем от технических новшеств. События на ключевых масштабах, кардинально влияющие на нашу жизнь (а именно малых – дни–месяцы и сверхбольших, которые обычно называют историческими – 10–100 лет), оказались, по–существу, за рамками анализа с помощью методов точных наук.

Грустные последствия «масштабной диспропорции» можно проследить на примере развития физической науки в XX веке. В самом деле, львиная доля усилий была вложена в исследовательские программы, анализирующие микропроцессы (теория элементарных частиц и физика высоких энергий) и мегапроцессы (Большой взрыв, крупномасштабная структура Вселенной и т.д.). В то же время ключевые открытия касались явлений на средних масштабах (высокотемпературная сверхпроводимость, молекулярная биофизика, динамический хаос и др.).

Однако в исследованиях, связанных с изучением человека и общества, ситуация гораздо серьезнее. Мы имеем дело с необратимо развивающимися системами и многие фундаментальные вопросы нельзя «отложить на завтра». Завтра может не наступить. Ученые столкнулись с необходимостью анализировать и давать прогноз процессов, меняющих траекторию развития больших сообществ на исторических масштабах. В качестве примеров можно привести долговременные последствия ускоренной деиндустриализации мировой сверхдержавы, использования сверхопасных технологий для поддержания экономического роста, глобальные изменения императивов развития и т.д.

Научное сообщество оказалось в положении плохого студента. Незадачливый студент готовился, но когда наступил экзамен, то оказалось, что он выучил ответы не на те вопросы, которые ему достались. Потерпели неудачу ряд крупных социально–экономических и исторических теорий, дававших долговременный прогноз. Поставлена под сомнение сама возможность получения долговременного прогноза развития общества. Христианство, гегелевский панлогизм, марксизм–ленинизм давали представление о далеком будущем, об асимптотике развития, о его «цели». С другой стороны, нелинейная динамика предоставила множество примеров простейших объектов, для которых невозможно дать долговременный прогноз, для которых существует горизонт предсказания, и не могут быть введены «цель» или «смысл». Сегодня мы не знаем, относится ли наше общество к таким объектам.

Этот вопрос не является академическим. Мировое сообщество столкнулось в жесткой постановке с «парадоксом планировщика». То, что прекрасно на временах 5–7 лет, может оказаться далеко не лучшим решением на временах 10–20 лет и губительным на временах 40–60 лет. Как тут быть? Считать, следуя

Ф.Хайеку, что следующие поколения сами позаботятся о себе и нас их проблемы волновать не должны? Или, вместе с К.Ясперсом, заранее согласиться с поражением, считая, что история имеет смысл, но для нас он непостижим?

Проблема долгосрочного прогноза встала перед экономистами и политиками очень остро. В деятельности правительств, руководства транснациональных компаний, международных организаций наметилась опасная тенденция к сокращению горизонта планирования. В этом плане классическая фраза французского короля: «После меня хоть потоп» выглядит как проявление оптимизма и государственной мудрости. Король планировал поддерживать желаемый им уровень жизни по крайней мере 20–30 лет.

Описание реакции человека и общества на различные события и управляющие воздействия стало очень важным при решении не только общих, но и совершенно конкретных задач. Приведем два примера. В последние два года предпринимались усилия по математическому моделированию высшей школы России [1,2]. Эта задача необычна тем, что нужно планировать и описывать не конкретную материальную продукцию или затраты, а возможности, предоставляемые обществу. При этом оказалось, что одним из ключевых параметров является величина, характеризующая восприимчивость экономики к инновациям. При различных уровнях этой величины и затрат на образование или науку страна может стать государством первого поколения (где основные ресурсы – минеральное сырье, энергоносители и территория, и акцент делается на тяжелой индустрии и экстенсивном развитии сельского хозяйства), второго поколения (ресурсы – психологические установки и трудовые навыки населения, ведущие отрасли – электроника, биотехнология, малотоннажная химия и др.) или третьего поколения (ресурсы – творческий потенциал общества, акцент на создании новых идей и технологий). Величина восприимчивости и ее изменение должны определяться из моделей другого типа, создание которых сейчас только начато.

Другой пример – моделирование боевых действий. В настоящее время эта область представляется весьма развитой частью прикладной математики. Тем не менее моделирование партизанской борьбы вызывает принципиальные трудности. Казалось бы, действие горстки самоотверженных повстанцев против отлаженной государственной машины под руководством Фиделя Кастро на Кубе и Че Гевары в Боливии должны были бы привести к сходным результатам. Описать различие этих ситуаций, приводящее к различному результату оказывается достаточно трудно.

Другим «внешним оправданием», побуждающим естественников обратиться к области знаний, традиционно принадлежавшей гуманитарным наукам, является принципиальная методологическая проблема. При анализе общества, страны, этноса натуральный эксперимент невозможен. Наблюдения за текущим состоянием недостаточны (поскольку долговременные процессы, структурные изменения могут играть ключевую роль). Возможности полномасштабного вычислительного эксперимента также невелики (требуется большое число параметров и переменных, оценка и измерение которых представляет отдельную проблему). Вместе с тем традиционная логика гуманитарных дисциплин часто оказывается недостаточной для использования ее в качестве основы для стратегических решений.

Здесь можно привести недавний конкретный пример. Для описания политико-экономической системы во многих странах Латинской Америки и в постсоветской России используется концепция «бюрократического рынка». В соответствии с ней, при этом варианте развития законы являются предметом торга между государственной администрацией и крупными корпорациями, добывающимися квот, льгот, уменьшения налогов. На основе этой концепции известный российский политолог В.Найшуль делает вывод, что существует только один способ перевести Россию с венесуэльского пути развития, на котором она находится сейчас, на другие рельсы. Это чилийский вариант, предусматривающий жесткую диктатуру, обеспечивающую выполнение законов, на длительный срок.

Фактический уход государства из сферы экономики, поддерживаемый кредитами крупных международных фондов и банков.

Итак, предлагается альтернатива Венесуэлы или Чили. Но действительно ли альтернатива такова? Оставим в стороне конкретные математические модели, по-иному объясняющие механизмы перехода от мафиозной к рыночной экономике [3]. Не будем учитывать альтернативные концепции развития страны, например, предлагаемые группой С.Кургиняна [4]. Обратим внимание только на логический скачок. На основе исторического опыта развития двух стран (вопрос: «Как было?») делаются выводы о способе действий в другое время, в другой ситуации, в других масштабах (ответ на вопросы «Что делать?» и «Кто виноват?»). Ряд принципиальных факторов, имеющих, на первый взгляд, ключевое значение, при этом игнорируется. Однако приходится согласиться с тем, что отсутствие развитого аппарата концептуальных и математических моделей, эффективно учитывающих не только экономические факторы, допускают такие скачки и провоцирует появление конъюнктурных выводов, устраивающих те или иные группы властной элиты.

Междисциплинарный подход, позволяющий сделать аргументацию выводов из исторического анализа более точной и доказательной, отделить ключевые факторы от второстепенных, мог бы иметь большое прикладное значение.

Итак, исследователи столкнулись с несколькими принципиально важными задачами, где натурный эксперимент невозможен, вычислительный — неэффективен, система математических моделей не построена. Остается оглянуться назад и посмотреть на историю с точки зрения точных наук, как на полигон для создания и верификации математических моделей, отражающих исторические процессы. Возможно, такая деятельность будет бесполезна и для самой исторической науки.

### **«Внутреннее совершенство»**

Задача исторического изучения гораздо скромнее тех, какие ставит себе изучение философское. Она и ограничивается указанием доступной наблюдению связи и преемственности явлений, не восходя к исходному пункту этих явлений и не опускаясь к конечным их целям.

*В.О. Ключевский*

Успехи естественных наук опираются на «трех китов». На возможность выделить небольшое количество ведущих, основных процессов и главных переменных (параметров порядка) при описании многих явлений. На веками создававшиеся и отработавшиеся процедуры измерения этих величин. На концептуальный и математический аппарат, позволяющий иметь дело с моделями реальности, с теоретическим анализом. Приходится осознать, что в контексте исторического, социально-психологического и, собственно, психологического исследования эти задачи только недавно поставлены.

Мы настолько привыкли к тому, что в уравнениях теоретической физики можно менять параметры и получать физически осмысленные результаты, что не осознаем это как фундаментальное достижение. В задаче о бросании камня можно изменить массу, скорость, угол бросания, можно сделать иным ускорение силы тяжести. Наконец, в теориях следующего уровня появляется возможность рассматривать предельно большие скорости или огромные массы, что, естественно, требует других уравнений.

«Исторический аналог» такой интеллектуальной свободы — возможность анализировать альтернативные варианты развития исторических событий, строить различные версии «альтернативной истории». Чтобы глубоко понимать свой путь и выбор, который делается в поворотных пунктах, нужно представлять поле возможностей, из которых траектория была выбрана. Именно этот момент является центральным в нескольких проектах построения теоретической истории [5,6].

У истоков этой «исторической ереси» стоит один из самых ярких и влиятельных историков нашего столетия – Арнольд Тойнби. В частности, им были выделены две точки бифуркации в развитии эллинистического мира и в подробностях разобраны два возможных сценария развития событий в эпоху Александра Македонского. Первый – Александр доживает до старости и создает всемирную империю от Рима до Китая. Второй – покушение Павсания на Филиппа, отца Александра, в 336 году до нашей эры заканчивается неудачей, впоследствии Александр гибнет. В то же время оказывается сорванной попытка отравить персидского царя Артаксеркса. И тогда два монарха делают главной пружиной IV века до нашей эры соперничество и сотрудничество эллинистического и персидского государств. «Дальнейший симбиоз двух великих держав распространил арамейскую культуру по всему миру, который ныне разделен на множество самоуправляемых клеток – полисов», таков итог этого сценария развития событий [7].

Уточним жанр возможного междисциплинарного подхода. Это особенно важно, поскольку в последнее время появился ряд исследований, посвященных использованию информатики в истории (эту область иногда называют клиометрией), а также математическим моделям исторических процессов.

Можно достаточно четко разделить работы по философии истории и, собственно, по истории. Первые позволяют нарисовать общую картину и выделить ключевые, по мысли их авторов, категории. «Цивилизации», «вызов», «ответ» у А.Тойнби [8], «этногенез», «пассионарность», «надлом» у Л.Н.Гумилева [9], «формации», «восновые технологии», «дискомфорт» у И.М.Дьяконова [10].

Эти концепции находят отражение в соответствующих «метафорических» математических моделях. Например, в модели нормативной истории, предложенной К.Э.Плохотниковым, в качестве основного функционала, который максимизируется в ходе исторического процесса на уровне геополитических субъектов, рассматривается «свобода» [11]. Эта модель представляет собой своеобразную формализацию гегелевской философии истории [12]. В последние годы появились модели типа «хищник–жертва» с исторической интерпретацией. Их идея обычно очень проста и наглядна – чем больше производство и выше жизненный уровень, тем больше будет жуликов и воров. Чем больше последних, тем ниже жизненный уровень. Воровать становится нечего, число жуликов уменьшается, возникают колебания. В эту «трофическую цепь» иногда включают часть «управленцев», которые тоже «ухудшают жизнь», и в которых иногда переходит часть жуликов. Главная проблема при использовании таких моделей состоит в том, что они оперируют величинами, которые трудно оценить, а также в сложности сопоставления с конкретными историческими событиями.

На принципиальную проблему перехода от философии истории, собственно, к истории обратил внимание В.О.Ключевский [13]: «Обе теории – телеологическая и метафизическая – показывают нам, откуда идет история и куда она направляется; но процесс включает в себе понятие движения и процесс поэтому можно назвать исторической механикой. Главный вопрос здесь, как совершается движение, а не откуда оно пошло и куда идет». Математические модели «исторической механики», на мой взгляд, и представляют основной интерес. И сам подход, связанный с разработкой и верификацией математических моделей отдельных этапов, стадий, процессов, ситуаций, возникающих в ходе исторического развития, для краткости в этой заметке будем называть исторической механикой.

При этом особое внимание в исторической механике разумно уделить основным концепциям и простым моделям. Наиболее яркий и глубокий пример математического моделирования исторических процессов дает анализ Пелопонесских войн, проводившийся в семидесятые годы в Вычислительном центре АН СССР и на историческом факультете МГУ [14]. Это прежде всего экономическое исследование, показывающее, каково было финансовое положение Афин, с 431 по 407 г. до н.э. Такой анализ позволил объяснить военные экспедиции Афинского морского союза и их результаты.

Однако во множестве исторических ситуаций решающими оказывались

неэкономические факторы. Кроме того развитие и совершенствование имитационной модели часто приводит к потере «прозрачности», т.е. трудности выделить наиболее важные факторы и причинно-следственные связи.

В итоге становится неясно, имеем ли мы дело с внутренними, ранее неизвестными, свойствами изучаемого объекта, либо это артефакт, обусловленный неточным заданием параметров. Несколько крупных проектов в области экологии, мировой динамики, глобального прогноза погоды показали, что эта ситуация является типичной. Полную и ясную картину обычно не удается получить, складывая ее, как мозаику, из различных блоков – моделей. Приходится строить не одну большую модель, а целую иерархию математических моделей различного уровня. При этом на нижних этажах иерархии должны находиться модели, которые могут быть легко проанализированы. Они могут дать не только понимание и упрощенное описание конкретных элементарных ситуаций. Они позволяют разговаривать на одном языке специалистам, работающим в этой области. Пример такого «модельного языка» в анализе рыночной экономики дают классические кривые «спрос–предложение», «затраты–выпуск» и др. [15].

Обратим внимание на следующее обстоятельство. В областях естествознания, имеющих развитый теоретический аппарат, есть не только набор «подходящих к разным ситуациям» уравнений, но и сама концепция теории, ключевые моменты описания. Например, законы сохранения и инвариантность относительно некоторых групп преобразований, гамильтонов подход к описанию играют важную роль в фундаментальных физических теориях. Зачастую, концепция оказывается более существенной, чем тот или иной вариант уравнений.

Обсудим некоторые гипотезы, относящиеся к исторической механике, которые могут оказаться существенными при разработке концепции междисциплинарного подхода.

### **Предсказуемость, горизонт прогноза, джокеры**

Удачный исход такой акции мог бы укрепить Афинский морской союз. Однако Сицилийская экспедиция носит столь явный отпечаток авантюры, что непонятно, как могли решиться на нее Афины.

*А.С. Гусейнова, Ю.Н. Павловский, В.А. Устинов. Опыт имитационного моделирования исторического процесса*

Принципиальным является вопрос о степени предсказуемости исторических процессов. С одной стороны, действия исторических субъектов часто приводили к совершенно неожиданным последствиям. С другой стороны, несомненные успехи в планировании и осуществлении проектов исторического масштаба показывают, что многое можно предвидеть. Непредсказуемость на одних масштабах поразительным образом согласуется с предопределенностью на других.

Посмотрим на проблему анализа и интерпретации исторических наблюдений глазами естествознания. По существу, мы находимся в той же ситуации, в которой оказывались пленники в пещере в известной платоновской притче. Обитатели пещеры, прикованные к стене, могут наблюдать только тени на противоположной стене, которые отбрасывают люди, проходящие мимо пещеры, либо предметы, проносимые ими. Могут ли узники на этой основе, не ставя каких-либо опытов, составить представление о мире вне пещеры?

Развитие астрономии и небесной механики убеждает, что, несомненно, могут. Замечательной особенностью этих задач является то, что движение ряда небесных тел периодически со сравнительно небольшим периодом и что число переменных, определяющих движение данного тела по небесному своду, невелико (мала размерность фазового пространства). Однако можно представить себе противоположную ситуацию. В ней, например, находятся двумерные существа, живущие на сфере. Кто-то, живущий в трех измерениях, может взять предмет, находящийся в одном месте сферы, и переместить в другое (рис. 1),

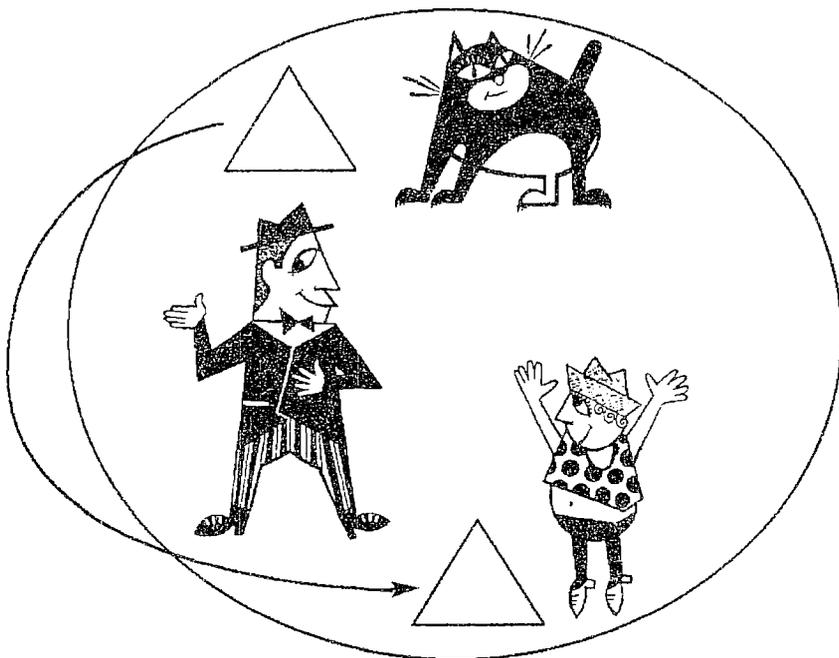


Рис. 1

воспользовавшись третьим измерением. Поскольку это измерение «платикам» недоступно, они будут относить происходящее на счет стихийных бедствий, божественных сил или загадочных «неплатических существей». У них в такой ситуации нет шанса развить технику «динамического прогноза», позволяющего по предыстории прогнозировать будущее. Естественно, в таком положении могут оказаться и пленники пещеры.

В последнее десятилетие активно развивалась техника, позволяющая по ряду наблюдений динамической переменной  $\{a_i\}$  восстанавливать динамическую систему  $\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f}(\mathbf{x})$ , описывающую этот ряд  $a_i = g(\mathbf{x}(i\Delta t))$ :

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{x}} &= \mathbf{f}(\mathbf{x}), \quad \mathbf{x} \equiv (x_1, \dots, x_p), \\ \mathbf{x}(0) &= \mathbf{x}_0, \end{aligned} \tag{1}$$

$$\{a_i\} = \{a_1, \dots, a_N\}, \quad a_i = g(\mathbf{x}(i\Delta t)),$$

где  $\Delta t$  – заданный интервал времени. Алгоритмы для нахождения функции  $f$  и  $g$  размерности пространства  $p$  получили название алгоритмов реконструкции аттракторов. Функция  $f$ , определяющая дифференциальное уравнение (в дискретном случае можно рассматривать отображение  $\mathbf{x}_{n+1} = \mathbf{f}(\mathbf{x}_n)$ ) позволяет построить предсказывающую систему или предиктор для исследуемого процесса [16,17]. Задача (1) о построении динамической системы по временному ряду, вообще говоря, некорректна. Один и тот же ряд можно «объяснить» с помощью различных динамических систем. Поэтому при исследовании (1) используется различная априорная информация и упрощающие предположения. Тем не менее в ряде случаев использование уже существующих алгоритмов решения сформулированной задачи могло бы помочь пленникам пещеры. В частности, они могли бы оценить величину  $p$ , отражающую число существенных переменных или размерность фазового пространства, в которой разворачиваются процессы в наблюдаемой ими части реальности.

По-видимому, часть исторических явлений (в которых ключевыми

являются макроэкономические, демографические и другие медленные процессы) допускает удовлетворительное динамическое описание. В то же время другая часть (ряд политических решений, многие военные столкновения и другие) возвращает нас к ситуации «плоскатики на сфере» и проблемам теории управления.

В соответствии с этим развивается несколько основных подходов к динамическому прогнозу исторических процессов. В первом, трудности получения «среднесрочного исторического прогноза» (10–20 лет) связывают с тем, что в изучаемой системе имеет место детерминированный хаос.

Тогда изучаемая система обладает чувствительностью к начальным данным. Близкие траектории в ней в среднем экспоненциально расходятся (рис. 2),  $d(t) \sim \exp(\lambda t)$ , где  $\lambda$  – старший ляпуновский показатель [18]. В этом случае время возможного динамического прогноза ограничивается горизонтом предсказуемости  $T \sim 1/\lambda$ .

И действительно, А.Ю.Андреевым и М.И.Левандовским была предложена модель, обладающая странным аттрактором [5]. Эта модель представляет собой модификацию известной в химической кинетике системы Ресслера, которая использовалась также при описании эпидемий. Построенная динамическая система имеет вид

$$\begin{aligned} \dot{X} &= m(N-X) - bXZ, \\ \dot{Y} &= bXZ - (m+a)Y, \\ \dot{Z} &= aY - (m+g)Z, \\ \dot{W} &= gZ - mW. \end{aligned} \quad (2)$$

Здесь  $N$  – общее число рабочих, занятых на предприятиях губернии,  $X$  – число рабочих, еще невоспринявших информацию о забастовке,  $Y$  – рабочие, согласившиеся забастовать, но не ведущие активную агитацию,  $Z$  – рабочие, становящиеся агитаторами,  $W$  – рабочие, отказавшиеся от участия в стачечной борьбе после одной из забастовок. Оказалось, что эта модель вполне удовлетворительно количественно описывает число рабочих, бастовавших во Владимирской губернии в 1895 – 1905 гг. Любопытно, что одна из базовых моделей нелинейной динамики – система Ресслера, оказалась весьма удобным и универсальным «строительным блоком» для построения математических моделей в нескольких областях.

Другой подход связан с представлением о точках бифуркации исторического процесса. В этой модели считается, что долговременные исторические изменения описываются динамической системой, зависящей от параметра  $\lambda$

$$\dot{x} = -\partial U(x, \lambda) / \partial x. \quad (3)$$

Например, таким параметром может быть «историческое время». При изменении параметра в системе (3) может происходить бифуркация. Малые случайные воздействия при этом могут оказаться решающими при выборе ветви бифуркационной диаграммы. В исторической интерпретации это соответствует возрастанию роли отдельных личностей, появлению возможности влиять на ход исторических процессов с помощью малых воздействий. В терминологии

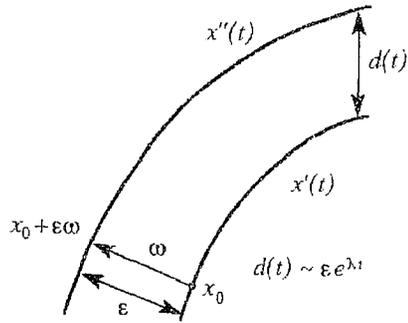


Рис. 2

нелинейной динамики, выбор ветви связывается с принципом «возникновения порядка через флуктуации» [16,18]. В терминах концепции А.Тойнби это соответствует выбору одного из ответов на брошенный цивилизации вызов. Примеры соответствующих бифуркационных диаграмм для нескольких исторических ситуаций даны в работе [6]. В принципе может быть разработана техника, позволяющая диагностировать точки бифуркации. Приведем пример, иллюстрирующий такой подход. В физике известен феномен критических флуктуаций, когда в точке фазового перехода возникают гигантские случайные отклонения, охватывающие всю систему. Аналогичные явления могут иметь место в точках бифуркации исторического процесса. Наглядный пример этого – огромный рост тиража и влияния на общественную жизнь в годы так называемой перестройки журнала «Огонек». После перехода к новому общественному укладу этот журнал утратил влияние и стал заурядным изданием. Другие примеры даст анализ процессов выбора путей развития в ходе нэпа [5].

Во всех этих моделях предполагается, что мы имеем систему с известным фазовым пространством сравнительно небольшой размерности. Тогда оправдано и применение методики реконструкции аттракторов, и построение моделей вида (2) и (3). В этой ситуации различные общества должны оказываться в близких точках фазового пространства. Должны быть «исторические аналоги». Техника поиска таких аналогов имела бы большое значение. Например, сегодня мы не можем сказать, насколько похожа «маленькая победоносная война» с Японией в начале века на «Чеченскую войну». Однако этот вопрос поставлен вполне корректно и на нынешнем уровне, вероятно, может быть решен средствами исторического анализа, и имитационного моделирования.

Вместе с тем, можно ожидать, что ряд исторических процессов требует для своего динамического описания фазового пространства достаточно большой размерности. Типичный пример – острое развитие внутривнутриполитической ситуации, приводящее к военным действиям на внешнеполитической арене, к экспорту своих проблем вовне. Предсказуемы ли такие события? Действовать в соответствии с обрисованным выше подходом нельзя. Алгоритмы реконструкции аттракторов в пространстве большой размерности неэффективны. Феноменологическое описание требует знания многих трудно измеряемых параметров. Кроме того, в мировой истории описано множество событий, где волевые решения и случайности сыграли ключевую роль. Грубо говоря, получить динамический прогноз не удастся, а статистический прогноз не нужен. В связи с этим разумно ввести новый класс математических моделей, которые можно условно назвать динамическими системами с джокерами.

Мы хотим описать ситуацию, в которой процессы в части динамического пространства (обозначим эту часть  $G_1$ ), вполне предсказуемы и описываются динамической системой (рис. 3)

$$\dot{x} = f(x) \text{ или } x_{n+1} = h(x_n). \quad (4)$$

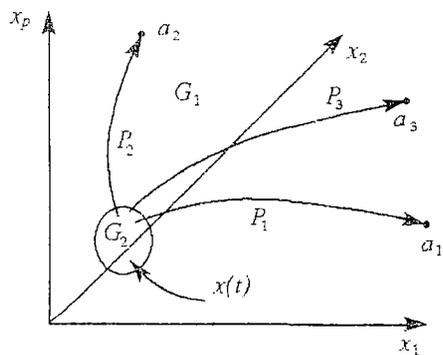


Рис. 3

В другой части фазового пространства ( $G_2$ ) задано некоторое правило, определяющее, где окажется точка в фазовом пространстве после того, как она попала из  $G_1$  в  $G_2$ . Это правило мы и назовем джокером. Часть  $G_2$  может соответствовать «третьему измерению» в мире «плоскостиков», высшим размерностям при реконструкции аттракторов, «свободе воли» или непредсказуемым действиям политического руководства. Естественно предположить, что часть множества  $G_2$  гораздо меньше, чем  $G_1$ .

Можно выделить три основных типа джокеров.

Джокер первого типа переносит точку, попавшую в  $G_2$ , в некоторую фиксированную точку  $a$  из множества  $G_1$  (детерминированный джокер). В частности, он описывает ситуацию, когда «рубят сук на котором сидят». В конце концов мы всегда оказываемся на земле.

Джокер второго типа переносит точку, попавшую в  $G_2$ , с вероятностью  $p_i$  в точку  $a_i$  множества  $G_1$ . Например, мы бросаем монетку и решаем, устроить презентацию нашего банка в «Хилтоне» или объявить о банкротстве (вероятностный джокер).

Джокер третьего типа задается распределением вероятности  $p(x)$ , в соответствии с которым он переносит попавшую в  $G_2$  точку в разные точки  $x$  из  $G_1$  (мы попали в крупные неприятности, и, чтобы выбраться из них, нужно выложить большую сумму; возможный размер суммы задается распределением вероятности  $p(x)$ ).

Построим простейшую модель, описывающую военную политику некоего княжества в период междусобных войн. Пусть параметром порядка являются военные расходы — переменная  $x_n$ , где  $n$  — номер месяца, в котором они были сделаны. При пассивной военной политике военных походов не предпринимается, военные расходы уменьшаются

$$x_{n+1} = \lambda x_n(1-x_n), \quad \lambda < 1, \quad x_1 = x' \quad (5)$$

Предположим также, что мы имеем дело с сильным княжеством, которое не ждет больших неприятностей от соседей. С падением расходов возникают проблемы с содержанием военной дружины, падает авторитет князя, начинается борьба за власть. Поэтому, когда  $x_n < \epsilon$ , надо предпринимать активные действия. Допустим, что с вероятностью  $p_1$  принимается решение о военном походе на северных, а с вероятностью  $p_2$  — планируется «организовать систему коллективной безопасности» с южными соседями. Такую ситуацию описывает отображение (5), заданное на интервале  $\epsilon \leq x_n \leq 1$  ( $G_1$ ) и джокер второго рода, заданный в области  $0 \leq x_n \leq \epsilon$  ( $G_2$ ). С вероятностью  $p_1$  джокер переносит значение  $x_n$  в точку  $a_1$  (поход на северных), с вероятностью  $p_2$  — в точку  $a_2$  (экспедиция к южным). Северные расположены дальше, поэтому и затраты будут больше. В отсутствие джокера  $x_n \rightarrow 0$  при  $n \rightarrow \infty$  (рис. 4) и военный компонент политики перестает быть значимым. При наличии джокера в системе периодически возникают военные походы, ход каждого из которых (точнее его финансирование) вполне предсказуем. Однако, сказать, куда же мы направимся в следующий раз, вразумлять южных или угрожать северных, нельзя. В реальной ситуации это, разумеется, зависит от темперамента князя, мудрости бояр, взглядов его супруги и советника по национальной безопасности, а также от множества других факторов, которые нам неизвестны. Именно эту неопределенность и отражает джокер. Отметим, что множество других факторов, характеризующих княжество, будет зависеть от уровня военных расходов, который может оказаться параметром порядка.

Обратим внимание на то, что джокер может радикально изменить ход процесса — сделать установившийся процесс периодическим или хаотическим или, напротив, внести упорядоченность в поведение системы. Он может приводить к эффектам, которые качественно отличаются от явлений, наблюдаемых в динамических системах с малым шумом. Анализ систем с джокерами ставит множество интересных математических задач. С другой стороны, поиск джокеров, характеризующих историческую реальность, также может оказаться глубокой содержательной проблемой.

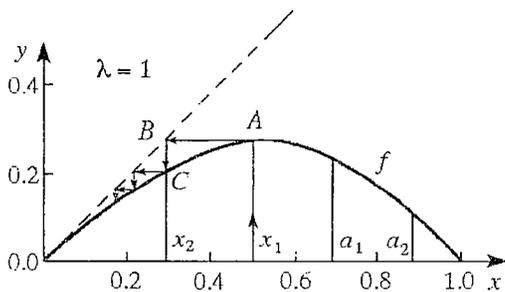


Рис. 4

## Пассионарный толчок и самоорганизованная критичность

Пассионарии стремятся изменить окружающее и способны на это. Это они организуют далекие походы, из которых возвращаются немногие.

*Л.Н. Гумилев*

В настоящее время ряд крупных исторических событий объясняется исследователями в рамках теории этногенеза, развитой Л.Н.Гумилевым. В соответствии с этой теорией, развитие этноса в большой степени предопределено внутренними причинами, его саморазвитием. Ключевой переменной, характеризующей стадию развития этноса, является уровень его пассионарности.

Эта величина определяется числом людей, которые способны в ущерб собственному благополучию или безопасности менять ценности, стандарты поведения, отношения, создавать новое. «При этом пассионарии выступают не только как непосредственные исполнители, но и как организаторы. Вкладывая свою избыточную энергию в организацию и управление соплеменниками на всех уровнях социальной иерархии, они, хотя и с трудом, вырабатывают новые стереотипы поведения, навязывают их всем остальным и создают таким образом новую этническую систему, новый этнос, видимый для истории», – пишет Л.Н.Гумилев.

В ходе развития меняются императивы развития этноса, начиная от стремления к благоустройству, проходя через поиск удачи, стремление к идеалу знания и красоты и далее к идеалу победы.

В этой самосогласованной и убедительной концепции, подтвержденной многочисленными историческими изысканиями, наиболее уязвимым моментом, вероятно, является начальная стадия возникновения этноса, пассионарный толчок. Сам автор концепции связывал его с некими «мутациями» либо с неизвестными космофизическими факторами. Развитие нелинейной динамики показывает, что можно обойтись без этих, не вполне понятных и вызывающих сомнения, сущностей. Возможности для этого предоставляет активно развиваемая в последние годы теория самоорганизованной критичности [16, 20, 21].

Одним из принципиальных результатов психологии индивидуальных различий является вывод о том, что распределение большинства способностей в популяции характеризуется гауссовым законом с плотностью вероятности  $\rho(x) \sim \exp(-(x-x_0)^2/\sigma^2)$  с превышением в области низких способностей. Гауссов закон характеризует также сумму большого числа случайных величин с конечными дисперсией и средним. Эти законы возникают в теории надежности, в термодинамике и во многих других случаях. Однако эти представления, лежащие в основе статистики, теории принятия решений и множества технологических проектов, применимы далеко не всегда.

Например, закон Рихтера – Гутенберга, показывающий как меняется число землетрясений с ростом их энергии, имеет степенной характер. Эти же закономерности характерны для селей, снежных лавин, биржевых крахов, возможных инцидентов с ядерным оружием, с утечкой конфиденциальной информации.

В нелинейной динамике было продемонстрировано, что в основе этих явлений вероятно лежит один и тот же механизм. Здесь мы всюду имеем дело не с независимыми событиями, а со множеством взаимосвязанных подсистем или элементов. Можно предположить, что таким же образом дело обстоит и в социальных системах на масштабах, характерных для исторических событий.

Базовой моделью теории самоорганизованной критичности является модель «куча песка» [16, 19]. Нетрудно дать историческую интерпретацию этой модели. Представим себе социальную структуру общества как набор элементов, каждый из которых характеризуется некоторым социальным статусом (величина  $h$ ), а также связями с ближайшими в структуре элементами. Естественно предположить, что в простейшем случае связи локальны. Информационного управления не происходит, и в своих действиях человек прежде всего ориентируется на поведение своих

близких. Допустим, что социальный статус одного из элементов случайно повысился (припишем это действиям его друзей или проделкам благосклонного джокера). Если это изменение не слишком велико, то друзья, знакомые и коллеги готовы ему порадоваться (получение звания, премии и т.п.). Однако, если это изменение слишком велико (вы получили Нобелевскую премию, огромное наследство и т.д.), у вас могут возникнуть проблемы, которые приведут к изменению как вашего статуса, так и статуса окружающих. По-существу это универсальная картина событий, которые могут разворачиваться в самых разных сообществах. При очевидных упрощающих предположениях формализация этой ситуации приводит к модели «куча песка» либо к ее аналогам.

Компьютерный анализ показывает, что для таких систем в большом интервале масштабов характерны степенные закономерности. Общее число элементов социальной структуры  $n$ , статус которых изменился, и число событий  $N$ , в ходе которых произошло такое изменение, связаны степенной функцией  $N \sim n^{-\alpha}$ . Продолжительность всех этих событий до того как структура перейдет в равновесное состояние также определяется степенным законом  $T \sim n^{-\beta}$ . При этом редкие катастрофические события оказываются наиболее важными. Если предположить, что такая картина отражает историческую реальность, то появляется возможность сопоставить шкале исторических масштабов различные события. Годы–десятилетия – возникновение партий, предвыборных блоков, коалиций. Века – изменения границ, рождение и гибель больших государств, изменение идеологии. Тысячелетия (гигантские лавины) – жизнь этносов, мировых религий, цивилизаций.

Представляется интересным на имеющемся историческом материале провести количественное сопоставление результатов теории самоорганизованной критичности и реального хода исторических событий. При этом возникает интересная «проблема перенормировки». Число событий в обществе, общественных организаций и открывающихся возможностей очевидно связано с количеством людей, составляющих рассматриваемую общность. Например, число граждан Афин эпохи Перикла сравнимо с числом жильцов современного многоэтажного дома. Однако их вклад в жизнь общества и в мировую культуру несравнимы. По-видимому, надо вводить некоторый масштабный множитель. Результаты исследовательского проекта С.П.Капицы в области «исторической демографии» показывают, что это возможно сделать [22].

Предварительное исследование, проведенное И.Н.Трофимовой, М.А. Митиным и А.Б.Потаповым, исходящих из элементарных фактов психологии индивидуальных различий и малых групп, показывает, какие неустойчивости могут привести к возникновению самоподдерживающейся социальной структуры, предлагающей новый стандарт отношений. Возможно, именно эти процессы и играют роль джокера на начальной стадии развития этногенеза.

Можно ожидать, что представления теории самоорганизованной критичности будут играть важную роль при построении «исторической механики».

Считаю приятным долгом поблагодарить А.Б.Потапова за обсуждение проблем исторической механики, С.А.Посашкова за оказанную поддержку, а также Н.В.Карлова за дискуссии в Андреевском клубе.

*Настоящая работа была поддержана Российским гуманитарным научным фондом (гранты 96-03-04535, 96-03-04307) и грантом Госкомвуза «Социальные проекции синергетики» и ГНТП «Безопасность».*

### **Библиографический список**

1. Малинецкий Г.Г., Каценко С.А., Потапов А.Б. и др. Математическое моделирование системы образования. Препринт ИПМ им. М.В.Келдыша РАН, 1995, № 100.
2. Малинецкий Г.Г. Высшая школа глазами математиков // Знание – сила. 1995. № 10. С.16.

3. *Гуриев С.М., Шахова М.Б.* Модель самоорганизации торговых путей в экономике с несовершенной инфраструктурой // Математическое моделирование динамических процессов и систем. МФТИ, 1995. С. 15–37.

4. *Кургинян С.* Седьмой сценарий. Часть 1. М.: Экспериментальный творческий центр, 1992. 335 с.

5. Математическое моделирование исторических процессов. М., 1996.

6. *Малинецкий Г.Г.* Нелинейная динамика – ключ к теоретической истории. Препринт ИПМ им. М.В.Келдыша РАН, 1995, № 81.

7. *Тойнби А.Дж.* Если бы Филипп и Артаксеркс уцелели // Знание – сила 1994. № 8. С. 60.

8. *Тойнби А.Дж.* Постигание истории. М.: Прогресс, 1991. 736 с.

9. *Гумилев Л.Н.* География этноса в исторический период. Л.: Наука, 1990. 280 с.

10. *Дьяконов И.М.* Пути истории. От древнейшего человека до наших дней. М.: Издательская фирма «Восточная литература», РАН, 1994. 384 с.

11. *Плохотников К.Э.* Нормативная модель глобальной истории: информация, ресурсы, политика // Россия XXI. 1994. № 8. С. 80–91.

12. *Гегель Г.В.Ф.* Лекции по философии истории. СПб.: Наука, 1993. 480 с.

13. *Ключевский В.О.* Т. VI. Специальные курсы. М.: Мысль, 1989.

14. *Гусейнова А.С., Павловский Ю.Н., Устинов В.А.* Опыт имитационного моделирования исторического процесса. М.: Наука, 1984.

15. *Стенли Д., Брю Р.* Экономикс. М.: Республика, 1993.

16. Новое в синергетике. М.: Наука, 1996.

17. *Malinetskiĭ G.* Synergetics, predictability and deterministic chaos in limits of predictability // Springer Series in Synergetics. Vol. 66. Berlin etc.: Springer Verlag. P. 75–141.

18. *Ахромеева Т.С., Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г., Самарский А.А.* Нестационарные структуры и диффузионный хаос. М.: Наука, 1992. 544с.

19. *Гумилев Л.Н.* От Руси к России. М.: Экспрос, 1992.

20. *Bak P., Tang C., Wiesenfeld K.* Self – organized criticality // Phys. Rev. A. 1988. Vol. 38. P. 364.

21. *Подлазов А.В.* Новые аспекты самоорганизованной критичности. Препринт ИПМ им.М.В.Келдыша РАН, 1995, N86.

22. *Капица С.П.* Феноменологическая теория роста населения Земли // УФН. 1996. Т. 166, № 1. С. 63.

*Институт прикладной физики РАН*

*Поступила в редакцию 4.07.97*



*Малинецкий Георгий Геннадьевич* родился в 1956 году в Уфе, окончил физический факультет МГУ (1979), защитил кандидатскую диссертацию на тему «Нестационарные диссипативные структуры в нелинейных средах» (1982) и докторскую диссертацию на тему «Диффузионный хаос и новые типы упорядоченности в нелинейных средах» (1990) в Институте прикладной математики. В настоящее время работает там же заведующим сектором нелинейной динамики. Автор большого количества статей в области исследования хаоса и нелинейных явлений. С 1985 года преподавал на факультете вычислительной математики и кибернетики МГУ, факультете прикладной математики Российского открытого университета. Читал курсы «Введение в математическое моделирование», «Основные идеи и методы синергетики», «Введение в нелинейную динамику». Профессор Московского физико-технического института, руководитель специализации «нелинейные процессы». Автор учебника «Структуры, хаос, вычислительный эксперимент. Введение в нелинейную динамику», около 30 учебных и научно-популярных брошюр и статей. Основные из них опубликованы в сборниках серии «Кибернетика: неограниченные возможности и возможные ограничения»: «Компьютеры, модели, вычислительный эксперимент» (1988), «Компьютеры и нелинейные явления» (1988), «Новое в синергетике» (1996).