

Г. Г. МАЛИНЕЦКИЙ

Нелинейная динамика — ключ к теоретической истории? *

Настоящие заметки представляют собой попытку взглянуть на историческую науку «со стороны». Это взгляд естественника, которому довелось применять методы математического моделирования и компьютерного анализа в различных дисциплинах. Мною движет вовсе не стремление «помочь историкам». Напротив, осознавая, какую богатейшую сокровищницу знаний, методов, идей, проблем представляет собой древнейшая наука история, хотелось бы понять, как что-то из этого можно использовать при решении собственных конкретных теоретических и практических задач, можно ли опереться на помощь и поддержку историков-профессионалов в реализации некоторой исследовательской программы, контуры которой намечены ниже. Естественно, без их активного и заинтересованного участия исследования в предлагаемом направлении бесперспективны.

В создании любой современной теории сложных (нелинейных) процессов принципиальное значение имеет накопленный научным сообществом опыт развития такого междисциплинарного подхода, как синергетика. На страницах журнала «Общественные науки и современность» в последнее время появился ряд статей, посвященных социальным аспектам этого подхода. Опубликованные статьи можно условно разделить на три больших класса.

В первый входят исследования, в которых на основе идей и подходов синергетики вводятся новые философские представления, такие как «новое мышление», «нелинейное мышление» [1], «синергетика познающих систем» [2], «линеаризация, т. е. прочерчивание одной траектории в нелинейном смысловом континууме» [3], и др. Эти понятия на первый взгляд представляются парадоксальными. Например, «нелинейность» или «новизна» мышления, понимаемые в обычном смысле, не могут рассматриваться как его достоинства. Гораздо важнее его правильность и адекватность изучаемым объектам. Поэтому эвристическая ценность или метафорический смысл введенных понятий должны быть объектами философского анализа. В настоящей же работе сделана попытка в максимальной степени *обойтись без новых понятий*, сформулировав развиваемые идеи наиболее ясно и конкретно.

* Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты 93—011—1687 и 94—01—00897) и Российского гуманитарного научного фонда (грант 96-03-04307).

Малинецкий Георгий Геннадьевич — доктор физико-математических наук, заведующий сектором нелинейной динамики Института прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН.

В другом классе работ, напротив, известные общие представления синергетики (бифуркации, хаос, аттракторы) используются для создания новых гуманитарных концепций. Возникают такие подходы, как синергетика политологии [4] или синергетика исторического процесса [5]. Эти подходы развиваются в рамках гуманитарных дисциплин и не апеллируют к конкретным результатам или математическому аппарату синергетики.

Наконец, к третьему классу можно отнести работы, в которых выдвигаются подходы, требующие совместной работы гуманитариев и естественников. Они предполагают возможность анализа гуманитарных проблем методами естественных наук и поэтому допускают более конкретную критику. К примеру, в статье О. Митиной и В. Петренко [6] предлагается анализ эволюции политических партий с помощью одномерных отображений, где в качестве переменной выступает приверженность демократическим ценностям. В этом случае возникает вопрос о способах измерения этой величины в некотором семантическом пространстве. Другой пример — выдвинутый Н. Моисеевым подход к поиску медленных переменных в историческом процессе, называемых «адиабатическими инвариантами» [7]. К этому классу работ, использующих *не только общие идеи, но и конкретные результаты естественных наук*, настоящие заметки наиболее близки.

Может оказаться, что при нынешнем уровне развития математического моделирования, с одной стороны, и конкретных наук (экономики, социологии, психологии, истории) — с другой, сформулированные проблемы неразрешимы. Однако существуют прекрасные примеры плодотворности анализа неразрешимых проблем — исследования классических задач об удвоении куба, трисекции угла и квадратуре круга, сыгравшие огромную роль в становлении геометрии. Другой, недавний, пример — построение эффективных и оригинальных моделей такого сложнейшего биологического явления, как морфогенез. Главная проблема моделирования морфогенеза заключается в том, чтобы понять, как в процессе развития организма возникают структурные и функциональные различия клеток несмотря на их одинаковую исходную генетическую информацию. От стихийного пессимизма большинства специалистов по биологии развития («здесь просто ничего нельзя смоделировать») удалось перейти к выявлению ключевых факторов процесса и на этом пути получить замечательные математические теории (теория самовоспроизводящихся автоматов, теория систем «реакция—диффузия», введенных А. Тьюрингом и сыгравших важнейшую роль в становлении синергетики, наконец, исследовательская программа Р. Тома, получившая название «теория катастроф»). При этом каждый подход ограничивался небольшим набором основных черт изучаемого явления и причинно-следственных связей. И хотя на нынешнем уровне биологии развития предпочтение отдается не таким эффективным, но более адекватным механохимическим моделям, значение находок, сделанных «по пути», для биологии и прежде всего для самой математики трудно переоценить.

Решение «сверхзадач» в области биологии стало мощным стимулом к развитию в конце XX века новых подходов к моделированию. Можно предположить, что «поставщиками» таких сверхзадач в следующем столетии станут психология и история. Во-первых, потому что в этих областях мы имеем дело со сложными, необратимо развивающимися, уникальными системами. Такие системы бросают вызов традиционной методологии, принятой в естествознании, и требуют глубокого осмысления аналитического опыта, которым располагают гуманитарные дисциплины. Во-вторых, процессы, исследуемые историей и психологией, обладают обманчивой «прозрачностью», потому что мы сами являемся частью исследуемой системы, и это приводит к необходимости разработать методологию, позволяющую исключить «объективную очевидность» из результатов исследования. В-третьих, от глубины понимания в этих двух областях непосредственно зависит, насколько достоверным и разумным будет прогноз развития человечества. Этот прогноз влияет на выработку стратегии развития нашей цивилизации, на то, какие перемены человечество может и должно принять и, конечно, на множество конкретных принимаемых решений.

Для чего нужна теория?

Спросим себя, для чего нужна теория либо какая-то теоретическая наука. Конечно, сразу перед глазами встает величественное здание теоретической физики: иерархия моделей, развитый формализм, эффективный набор процедур, позволяющий сравнивать предсказания теории с результатами эксперимента и данными наблюдений. Предпринимались попытки развивать теоретический подход и в других областях. Характерный пример — попытки построить систему математических моделей для анализа биологических проблем. Дискуссии, школы в городе Пущино, огромное количество статей и конференций, множество неудачных моделей. И каков же итог? На мой взгляд, — новый уровень понимания биологических проблем, возможность отделить принципиальные вопросы от мелких второстепенных задач. Разумеется, при этом математика перестает быть «машиной» для обработки результатов экспериментов. У нее появляется в одних случаях эвристическая, в других — обобщающая, синтезирующая функция, в третьих — она становится языком, на котором формулируются биологические закономерности. Однажды в среде специалистов мне довелось слышать такой ответ на вопрос, что мешает совместной работе математиков и биологов: «Математика — незнание математики, биологам — незнание биологии». Вероятно, это типичная ситуация.

В этом же ряду попытки построения теоретической географии исходя из тех количественных закономерностей, которые были обнаружены в этой области [8, 9]. Допустим, мы решили, следуя примеру других наук, создать новую дисциплину — теоретическую историю. Какие шаги для этого следовало бы предпринять?

Уточнение предмета. Прежде всего, следуя традиции естественников, введем «рабочее определение». Оно нужно для того, чтобы договориться, о чем пойдет речь. Например, оно может звучать так: «Под теоретической историей будем понимать основанные на междисциплинарном подходе изучение и описание причинно-следственных связей, определяющих поведение и поле путей развития больших социальных групп на характерных временах от 10 до 1000 лет, обладающие предсказательной силой». Предложенное определение, вообще говоря, требует уточнения, ибо под «большими социальными группами» в одних случаях могут пониматься этносы, в других — граждане страны или полиса, в третьих — элиты, определяющие ход исторических процессов. «Предсказательная сила» — это способность давать прогноз определенных событий на некоторое время. Разумеется, продолжительность этого периода зависит от типа событий, полноты и достоверности информации о состоянии общества. Нелинейная динамика показала, что даже в простейших физических системах существуют фундаментальные ограничения на возможность «динамического» прогноза, своеобразный «горизонт предсказуемости» [10, 11]. Тем не менее многие характеристики исследуемых процессов могут быть предсказаны, и почти всегда можно дать «слабый прогноз», т. е. ответить на вопрос, чего *не* произойдет в данной системе.

Междисциплинарность подхода связана с необходимостью использовать модели социальной психологии, экономики, результаты имитационного моделирования для получения ответов на исторические вопросы.

Пожалуй, наиболее важным является понятие «поле путей развития». В самом деле, в ходе истории, начиная от отдельного человека и кончая человечеством как целым, неоднократно приходится делать выбор. Отказываться от одних путей, предпочитать другие. Смысл и значение многих научных дисциплин в большой мере определяются тем, насколько разумным и осознанным они позволяют сделать этот выбор. Возможности истории в комплексе с другими дисциплинами, включая компьютерное моделирование, в последние годы многократно возросли. Традиционная история делала акцент на изучении конкретного исторического пути и была обращена в прошлое. Теоретическая история может поставить во главу угла *не только реальность, но и возможности, ситуации выбора, точки*

бифуркации исторического процесса. Теоретическая история должна иметь дело не только с критическим анализом прошедшего, но и с «сослагательным наклоном».

Создание «сита», позволяющего отделять главные факторы от второстепенных. Это исключительно важный этап, предшествующий построению теории. Напомню, что в физике он длился многие века. Леонардо да Винчи, как известно, исследовал зависимость величины, которую мы называем ускорением свободного падения, от массы и плотности тела. Он считал эти факторы весьма важными и получил конкретные количественные соотношения. По известной «школьной легенде», вопрос удалось прояснить благодаря опытам Галилея, бросавшего предметы с вершины Пизанской башни и наблюдавшего их свободное падение. Однако это неверно. Как вычислительный, так и натурный эксперименты свидетельствуют, что Галилей не мог наблюдать одновременное падение различных тел. Исторический анализ, проведенный группой слушателей вечерней компьютерной школы при Институте прикладной математики им. М. В. Келдыша, подтвердил, что мы имеем дело с легендой. Позже, в картезианской физике, движение тел объяснялось сложным взаимодействием вихрей. Главенствовала идея «все связано со всем». Понадобились усилия многих блестящих исследователей, чтобы перейти к более простому описанию явления и выделить наиболее важные причинно-следственные связи, т. е. создать «сито».

Историческая наука переживает сейчас «картезианский период» своего развития. Однако вопрос об иерархии причинно-следственных связей уже поставлен. Напомню приведенный М. Блоком пример анализа падения человека в пропасть [12]. Тривиальному подходу «существенно все» противопоставлен поиск конкретной причины — неосторожного шага: «И не в том дело, что именно этот antecedent был самым необходимым для данного события. Множество других были в равной степени необходимыми. Но среди всех других он выделяется несколькими очень четкими чертами: он был *последним, наименее постоянным, наиболее исключительным* в общем ходе вещей, наконец, в силу именно этой *наименьшей всеобщности* его вмешательства как будто легче всего было избежать».

Блок и ряд его последователей предложили историкам метод своего рода «исторического расследования». Использование традиционных приемов криминалистики и принятых в юридических науках стандартов анализа помогли получить много интересных научных результатов в этом жанре «исторического детектива». Выделение стандартных схем рассуждений и типичных модельных ситуаций позволило С. Смирнову создать жанр своеобразных «исторических шахмат», обсуждаемых в нескольких задачниках по истории [13].

В настоящее время в историческом анализе получило широкое распространение использование компьютеров. Это направление работ было названо исторической информатикой. Историческая информатика расширяет возможности историка, предоставляя инструменты для анализа фактического материала, привлечения современного статистического анализа [14—16]. Однако здесь пока еще не возникает новое качество, компьютер остается «машиной для обработки данных». Обсуждение методов моделирования в исследовании исторических процессов показывает, что мы находимся в начале пути. Следующий шаг теоретической истории — *развить технику вычислительного эксперимента в своей области.* Использование в 60-е годы нашего столетия такой техники в физике, химии, технологии имело фундаментальное значение.

Построение набора моделей. Условием внедрения вычислительного эксперимента в сфере исторического анализа является разработка концепций, позволяющих дать достаточно простое формализованное математическое описание. На мой взгляд, огромный набор моделей, построенных на вербальном уровне и допускающих такое описание, уже существует. Гегель, Маркс, Тойнби, Гумилев представляют историческое развитие достаточно ясным, логичным и самосогласованным образом. Основная проблема, мне кажется, состоит не в том, чтобы подобрать адекватный математический язык. Серьезная междисциплинарная работа нужна,

чтобы определить границы применимости каждой из выдвигаемых концепций, понять, какие упрощения разумны и оправданы, решить проблему измерения.

В свое время Л. Гумилевым была введена и дала блестящие результаты в историческом анализе концепция пассионарности. Эта концепция представляется глубокой и содержательной, однако ее использование в математическом моделировании требует ответа на вопрос, каким образом пассионарность, хотя бы в принципе, может быть измерена. Получение ответа предполагает совместную работу историков, психологов, социологов, специалистов по моделированию. Принципиальную проблему измерения можно проиллюстрировать и на примере использования аппарата теории катастроф в социологии, психологии, в других сферах «мягкого моделирования». Предположение о том, что мы имеем дело с «типичными» катастрофами складки или сборки, неконструктивно, если у нас нет процедуры измерения величин, «отложенных по осям». Нетрудно убедиться, что число моделей, для которых он решается или просто ставится, ничтожно [17].

Построение набора моделей и анализ областей их применимости позволяют избежать абсолютизации одной из черт явления, что весьма опасно. Например, переоценка области применимости монетаристской концепции в условиях России привела к необходимости «импровизировать» и имела тяжелейшие социально-экономические последствия. Абсолютизация географических аспектов может привести к таким весьма сомнительным выводам: «...Россия *никогда* не будет развитым государством, как бы хорошо, правильно и долго не осуществлялись в ней преобразования (вспомните, сколько их уже было с начала индустриальной эпохи!). Нас неизменно ждет тупик в конце туннеля реформ» [18]. Число примеров такого «научного» подхода можно увеличить.

Построение аппарата исследования моделей. Чтобы теоретическая история приобрела статус парадигмы, недостаточно уникальных исследований, дающих результаты, которые не могут быть получены с помощью традиционных методов. Недостаточен даже достоверный и оправдавшийся прогноз исторических событий. Нужен способ разбиения сложной задачи на простые. Нужен, по выражению Т. Куна, «генератор головоломок», который позволяет работать в этой области не только выдающимся исследователям.

Опыт построения математических моделей экономики и психологии показал, что эти области науки требуют специфического математического аппарата, стимулируют рождение новых разделов математики. В первом случае это теория оптимального управления, негладкий анализ, теория игр. Во втором — теория конечных автоматов для анализа целесообразного поведения, риманова геометрия для анализа субъективных пространств, теория нечетких множеств для анализа субъективных оценок, сочетание методов логики и теории вероятностей для описания поведения рефлектирующего субъекта.

Можно ожидать, что развитие теоретической истории также приведет к созданию оригинального математического аппарата. Пока при описании исторических процессов мы пытаемся использовать язык теории исследования операций либо язык нелинейной динамики. Однако попытки строить конкретные модели показывают, что в этих языках отсутствуют важные для исторического анализа понятия и представления.

Система верификации и методика установления соответствия. Этот вопрос является одним из самых «больных» для специалистов, использующих математические методы в исторических исследованиях. Традиционные возражения представителей классической исторической науки сводятся к следующему: «Модель никуда не годится, потому что мы этого не знали и получилась нелепость». Либо: «Вы получили в точности то, что заложили и что мы и без того знали». За этим очевидным логическим тупиком (новое знание не может идеально соответствовать старому, потому что иначе оно не является новым) стоит реальная проблема — проблема критерия истины. На каком основании то или иное историко-математическое построение может быть принято или отвергнуто?

Успехи неклассической (а позже «постнеклассической») науки во многом связаны с наличием весьма жестких рамок, в которые должны укладываться предсказания вновь создаваемых физических теорий. Именно благодаря этим рамкам и удалось поставить «решающие эксперименты». Напротив, психоанализ и множество медицинских теорий обычно сталкиваются с упреками в том, что они все объясняют, но ничего не предсказывают, «не могут быть фальсифицированы» и т. д. На мой взгляд, эти методологические вопросы, определяемые нашими сегодняшними возможностями и результатами конкретных исследований, могут быть успешно решены. Их решение, возможно, явится важным шагом при построении теоретической истории.

Когда теоретическая история будет создана...

Допустим, что исследовательская программа, связанная с построением теоретической истории, реализована. Что это дает? Обсудим некоторые варианты ответов на этот вопрос.

Представим себе, что мы стали участниками межпланетной экспедиции на некую обитаемую, но не известную нам планету. Население планеты имеет долгую и славную историю. В экспедицию, соответственно, включены физики, химики, биологи и, разумеется, историк. Физики и химики привезут на планету не только приборы, но и конкретные исследовательские программы, «аппарат генерации вопросов». С чем прибудет историк? Решение каких вопросов является приоритетным для исторической науки? Другими словами, как отделять суть дела от несущественных деталей? Разумеется, этот мысленный эксперимент — лишь способ обострить проблемы, возникающие при стратегическом планировании в наших конкретных земных условиях.

Одному государственному деятелю приписывают крылатую фразу: «Я могу найти множество специалистов, которые берутся построить пирамиду, и не могу найти ни одного, кто знал бы, следует ли ее строить». Эта фраза отражает те суровые реальности, которые сложились к концу нашего века. Еще не так давно правительства, в том числе и в странах рыночной экономики, планировали, как правило, развитие своих государств в пятилетней перспективе. Исчерпание многих важнейших ресурсов, ухудшение экологической ситуации, быстрый рост населения стран третьего мира, изменение политической карты мира и передел сфер влияния, тупик концепции «устойчивого развития» создают новую ситуацию. Приходится принимать исторические, в полном смысле слова, решения, которые могут изменить траекторию развития цивилизации по крайней мере на много десятков лет.

Среди множества проблем, которые здесь возникают, я обратил бы внимание на так называемый парадокс планировщика. То, что прекрасно на временах 5—7 лет, может оказаться далеко не лучшим решением на временах порядка 10—20 лет и губительным на временах 40—60 лет. Как тут быть? Считать, подобно Ф. Хайеку, что следующие поколения сами позаботятся о себе и нас их проблемы волновать не должны? Или действовать как-то иначе?

Теоретическая история, вооруженная современными средствами теоретического исследования и методами анализа наблюдений, идущими от естественных наук и математики, опытом изучения стран и цивилизаций в кризисные переломные моменты, могла бы сыграть здесь огромную роль.

Культура, религия, идеология, научные теории в огромной степени определяют не только текущим состоянием общества, но и его ожиданиями, долгосрочным прогнозом. Они могут играть как стимулирующую, так и разрушительную роль. Есть все основания полагать, что история готовит нашей цивилизации много неприятных неожиданностей. Уже наблюдается достаточно быстрый отход от предшествующей траектории развития человечества. Анализ возможных ответов на этот вызов является сверхзадачей всей науки. Естественнонаучные дисципли-

лины сами по себе решать такие проблемы не могут. Масштабы ожидаемых перемен слишком велики, и очень многое должно измениться в самом человеке. Тут свое слово должны сказать междисциплинарные подходы и, может быть, теоретическая история.

Общие трудности, общие проблемы

Гегелю приписывают афоризм: «Математика наука точная, потому что математика наука тощая». В самом деле, вспомним геометрию Евклида. Минимальное количество основных допущений, простота и наглядность используемых математических моделей, огромные возможности для дедукции и весьма высокие требования к строгости рассуждений. Очарование и изящество классических произведений, которые донныне вдохновляют тех, кто строит математические теории.

Однако со времен Гегеля многое изменилось. В XX веке математике и математическому моделированию пришлось столкнуться с весьма непростыми ситуациями и во многих случаях перестать быть «наукой тощей». Наряду с аналитиками, которые делают «то, что можно, так, как нужно», появился большой отряд специалистов по прикладной математике, которым приходится «поступиться принципами» и делать «то, что нужно, так, как можно», чтобы воспользоваться возможностями вычислительного эксперимента.

Специалисты по математическому моделированию и нелинейной динамике столкнулись с теми же трудностями и проблемами, которые стоят перед дисциплинами, изучающими сверхсложные объекты. И, в частности, перед историей. Обратим внимание на некоторые из них.

Трудность выделения параметров порядка. Появление и широкое внедрение компьютеров поначалу породили иллюзию, что «чем больше данных будет учтено, тем лучше» (сродни мнению, что «все существенно», бытующему среди некоторых исторических школ). Построение модели сложного явления производилось по принципу складывания мозаики. Провал нескольких крупных исследовательских проектов показал, что так действовать нельзя. Например, американский проект моделирования экологических процессов «Биосфера», в котором участвовало около 700 «складывающих мозаику» ведущих специалистов, привел к результатам, не допускающим какой-либо разумной интерпретации.

Приоритетной оказалась задача тем или иным способом выделять главные, ведущие переменные, к которым подстраиваются все остальные степени свободы («решать проблему агрегации»). Неоднократно обсуждалось, что уточнение математического описания предполагает построение иерархии математических моделей. Однако в моделировании, как и в истории, выделение параметров порядка остается, скорее, искусством, нежели наукой. Зачастую возникают ситуации, когда неясно, что делать с уже собранной информацией. Типичные примеры дает работа с данными, поступающими со спутников, сейсмических и метеорологических станций. Огромные массивы информации в этих важных сферах очень часто не дают понимания исследуемых процессов и возможностей для их прогноза. Другими словами, упорядочение информации, выделение в ней «параметров порядка», анализ вопросов, которые можно задать, располагая этой информацией, выходят на первый план во многих приложениях нелинейной динамики. Можно ожидать, что скоро на эти рубежи выйдет и история. Когда «клиометрия», как иногда называют историческую информатику, сделает свое дело и встанет вопрос, что дальше, свое слово должна сказать теоретическая история.

Появление проблемы измерения. Успехи в математическом моделировании сложных систем, как правило, связаны с анализом объективных количественных характеристик исследуемых объектов. Опыт развития математической психологии и математической географии показал, что получение поддающихся количественному анализу объективных характеристик является далеко не простым де-

лом. «Слабым звеном» в большинстве случаев оказываются люди, а не техника. Об этом свидетельствует анализ Чернобыльской аварии и ряда других катастроф. Именно действия и реакцию людей следовало бы описывать и предсказывать как во множестве прикладных задач, так и в истории. Однако количественное описание человеческого поведения существенно отличается от стандартных приемов, используемых в естествознании. Объективную информацию о субъективных факторах часто приходится извлекать с помощью тестов, опросов, анализа других косвенных данных. Эта проблема, присутствующая во многих математических моделях экономики, социологии, психологии, политологии и ряда других дисциплин, использующих результаты «мягкого моделирования», естественно, встанет и при создании теоретической истории.

Акцент на качественном описании системы. Однако история свидетельствует, что многие количественные характеристики исследуемых социумов зачастую оказываются несущественными, а огромную роль играют выявление тенденций, анализ возникновения новых качеств. Качественные революционные скачки, «локомотивы истории», всегда служили предметом пристального внимания историков.

Но именно «анализ качеств», а не чисел и фигур стал лейтмотивом множества разделов математики, родившихся в XX веке,— топологии, теории катастроф, некоторых теорий в нелинейной динамике.

И здесь мы видим общие проблемы.

«Исторический подход» теории бифуркаций. Одним из основных инструментов современной нелинейной динамики является теория бифуркаций. Теория бифуркаций сродни историческому подходу. Она предлагает рассматривать не изолированное решение или конкретное явление при фиксированных значениях параметров. Она обращает внимание на «предшественников» (то, что было при меньших значениях параметров), «потомков» (то, что существует при больших), а также «соседей» и «родственников» в пространстве параметров.

Чтобы придать конкретный смысл понятию «бифуркация», надо понять, чем «одно» отличается от «другого» (того, что возникло после). Для простых моделей эти отличия удается выделить, их анализ для многих сложных систем — нерешенная проблема [19]. В чем-то обсуждение этих проблем «нелинейщиками» напоминает дискуссии историков об укладах, формациях, классах, «европейском» и «азиатском» путях развития.

Большой интервал характерных масштабов. Имея дело с экологическими задачами, анализом межгосударственных отношений, проблемами стратегического планирования, специалисты по математическому моделированию столкнулись с тем, что существенные процессы занимают огромный интервал временных масштабов [20]. Иерархия примерно такова:

- 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.

Ключевой задачей при моделировании сложных социально-экономических систем становится выделение определенного интервала масштабов, на которых разворачиваются исследуемые процессы. При этом приходится прибегать к определенным допущениям относительно «медленных» и «быстрых» переменных.

Отсюда вытекает иерархия пространственных масштабов, масштабов взаимодействия различных социальных групп. Но это в точности те же проблемы, которые возникают при историческом анализе и на которые обращает внимание А. Тойнби [21].

Что нового на чаше весов?

Исследователи очень часто полны радужных надежд и склонны составлять наполеоновские планы. Однако обычно существует противоречие между намерениями и средствами, имеющимися в распоряжении ученых. Поэтому приходится взвешивать. Класть на одну чашу весов ожидаемые результаты и усилия, которые можно вложить, на другую — инструменты и подходы, которые существуют или могут быть развиты. Итак, что же нового на эту чашу весов сегодня может положить нелинейная динамика?

Алгоритмы выделения параметров порядка. Основой синергетики и нелинейной динамики является концепция параметров порядка. Эта концепция за последние двадцать лет прошла большой путь от «символа веры», который разделяли в основном физики, до нового раздела математики — теории инерциальных многообразий. В этой теории для большого класса систем, имеющих бесконечно много степеней свободы, доказано существование конечного набора параметров порядка, определяющих поведение изучаемых объектов на больших характерных временах. Оказалось, что «за фасадом» исключительно сложных, хаотических явлений скрывается внутренняя простота.

Этот вывод имеет принципиальное значение, предрекая успех. Однако гораздо важнее было бы построение алгоритмов, позволяющих устанавливать взаимосвязи между этими параметрами. Например, нахождение связывающей их системы обыкновенных дифференциальных уравнений (инерциальной формы). Исследования в этом направлении интенсивно развиваются, и появились первые сообщения об обнадеживающих результатах.

Большие усилия в последние годы вкладывались в нахождение алгоритмов так называемой реконструкции аттракторов. Это новый класс методов обработки временных рядов, порождаемых детерминированными динамическими системами либо системами с малым шумом. Такие методы позволяют выяснить, насколько сложной должна быть модель изучаемого явления (сколько в ней должно быть степеней свободы или параметров порядка), насколько велик временной интервал, на котором можно прогнозировать поведение изучаемого объекта. В ряде случаев они оказались очень эффективными в задачах медицинской и технической диагностики. Возможно, эти методы окажутся полезными при анализе социальных и исторических процессов.

Изучение неустойчивых решений, определяющих будущее. Допустим, что важная часть проблемы решена и параметры порядка выделены. Это не является столь уж невероятным. Например, в макроэкономике эта задача в ряде случаев успешно решается. Кривые спроса и предложения, кривые производственных возможностей предполагают разумное решение таких проблем на определенном уровне.

Допустим, что развита теория, показывающая, каким образом будут меняться эти величины в зависимости от времени (параметр t на рис. 1). Говоря математическим языком, у нас появилась возможность построить *бифуркационную диаграмму для исторических процессов*. На этой диаграмме есть устойчивые ветви, которые соответствуют таким историческим путям развития общества, при которых малые возмущения существенно не меняют траекторию. Неустойчивые ветви соответствуют теоретически существующим траекториям, движение по которым в отсутствие специального тонкого и жесткого управления невозможно. Можно сказать, что они связаны с нереализованными возможностями, с идеальными конструкциями, живущими в массовом сознании.

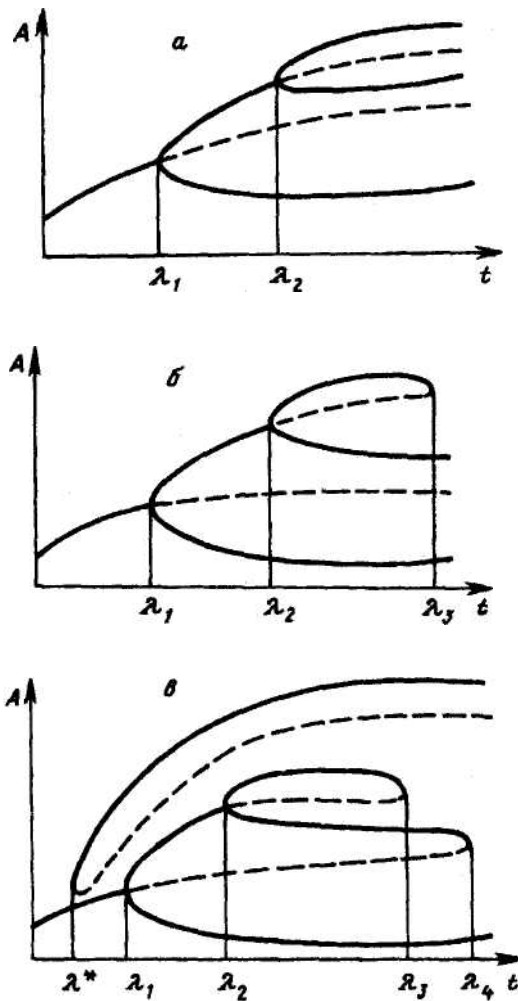


Рис. 1. Типичные бифуркационные диаграммы, допускающие наглядную историческую интерпретацию. В точках $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ перед обществом могут открыться несколько возможностей развития либо произойти катастрофические изменения.

Современная теория бифуркаций показывает, что эти «вещи-в-себе», которые также должны быть в центре внимания теоретической истории, подчас приобретают решающее значение. Неустойчивые и устойчивые ветви могут «схлопываться», «коллапсировать», что приводит к катастрофическим скачкам, к принципиальным изменениям в жизни общества, происходящим за очень короткий срок.

Сказанное иллюстрируют простейшие примеры, представленные на рис. 1. Предположим, что в качестве параметра A , отложенного по оси ординат, выступают реальные доходы на душу населения. Пусть с течением времени климат меняется, и урожайность зерновых культур в неких мифических государствах падает. Выращиваемого на доступных посевных площадях становится недостаточно. Возрастает социальная нестабильность, сообщество подходит к точке бифуркации. По терминологии Тойнби, обществу «брошен» исторический вызов. На него можно отреагировать разными способами. Например, уменьшить потребности перенести внутренние проблемы вовне и проводить жесткий курс по отношению к соседям (путь Ликурга). Этому ответу соответствует нижняя ветвь на

рис. 1а (точка А.). Или начать колонизацию заморских территорий, где государства находятся на более низкой стадии развития и не могут оказать серьезного сопротивления. Можно выбрать (точка λ_2 статус торговой державы либо обосноваться за морем «всерьез и надолго»). Перелистав страницы Тойнби или Гумилева, нетрудно найти много эпизодов не только из жизни полисов, где развитие шло в соответствии со сценарием, представленным диаграммой на рис. 1а. Диаграмма, представленная на рис. 1б, может соответствовать кризису «общества потребления», имеющего весьма высокие жизненные стандарты.

Но гораздо интереснее и важнее, пожалуй, анализировать и предсказывать ситуации, представленные на рис. 1в. Эта картина соответствует, например, разрушению окружающей среды при использовании традиционных технологий природопользования, резкому понижению жизненных стандартов и выходу с течением времени на уровень возобновляемых ресурсов. Две верхние изолированные ветви (устойчивая и неустойчивая) в данном случае соответствуют новой технологии природопользования. И здесь становится ясна большая польза диаграмм, подобных нарисованным. Допустим, мы никоим образом не представляем кривой своего исторического развития. Тогда нас ожидают катастрофы, бедствия и серьезные неприятности в точках λ_3 и λ_4 (см. рис. 1в).

Если же мы имеем развитый и эффективный аппарат прогноза, ситуация существенно меняется. Тут вполне уместна поговорка «предупрежден, следовательно вооружен». Теперь мы знаем «поворотный пункт» λ , где мобилизация ресурсов и усилий с целью перейти на верхнюю ветвь разумна и оправдана. Позже для этого попросту может не оказаться возможностей.

Ситуация очень похожа на ту, которая сложилась у геофизиков, занимающихся прогнозом землетрясений: чем более обоснован и достоверен прогноз, тем более масштабные и энергичные меры можно предпринимать, чтобы уменьшить ущерб от стихийного бедствия.

Разумеется, интерпретация и прогноз исторических событий, использующие представления теории бифуркаций, немислимы без активного и заинтересованного участия профессионалов-историков, которые могли бы наполнить математические модели конкретным историческим содержанием. Обратим внимание на попытку классификации и на терминологию, введенную для анализа бифуркаций в ходе исторического процесса: «Сами нестабильности могут быть различного происхождения. Они могут возникать вследствие недостаточной ассимиляции или плохого применения технологических инноваций. Такого рода нестабильности служат примерами того, что я называю «Т-бифуркациями». Толчком к их возникновению могут быть и внешние факторы, такие как гонка вооружений, и внутренние факторы, такие как политические конфликты, образующие «С-бифуркации». Нестабильности могут быть вызваны крушением локального экономико-социального порядка под влиянием учащающихся кризисов, порождающих «Е-бифуркации». Независимо от своего происхождения нестабильности с высокой вероятностью распространяются на все секторы и сегменты общества и тем самым открывают двери быстрым и глубоким изменениям» [22].

Изменение поля возможностей и эволюция областей притяжения аттракторов. Анализ развития системы высшего образования, в котором мне довелось принять участие, а также работа с теоретическими моделями нейронных сетей, имитирующими элементы мышления, помогли увидеть общую для многих задач нелинейной динамики проблему. Эта проблема связана с изменением областей притяжения аттракторов исследуемых систем и может стать одной из ключевых при построении теоретической истории.

В нелинейной динамике принципиальную роль играют так называемые притягивающие множества в фазовом пространстве, или аттракторы. Формально они описывают поведение исследуемого объекта на больших временах. В теории нейронных сетей они соответствуют запомненным образам, которые следует распознать. В ряде междисциплинарных исследований аттракторам сопоставляются

предельные состояния общества. Иногда их трактуют как «цели развития». До середины восьмидесятых годов именно аттракторы и были в центре внимания специалистов по нелинейной динамике.

Однако сейчас акценты существенно меняются. На арену все чаще выходят множества в фазовом пространстве, называемые областями притяжения аттракторов.

Здесь, видимо, следует пояснить смысл терминов «аттрактор» и «фазовое пространство».

Допустим, мы знаем про общество все, что необходимо для его описания. Это будет набор параметров, выраженных числами. Например, доход на душу населения, уровень образования, стоимость 1 квт/часа электроэнергии, уровень преступности, объем продажи галстуков и т. п. Параметров может быть сколь угодно много. Рассмотрим их как координаты точки в некотором пространстве, подобно тому, как числами выражаются координаты точки на плоскости. Это воображаемое пространство и есть «фазовое пространство» общества, а точка, о координатах которой шла речь, изображает его текущее состояние. В следующий момент времени параметры общества изменятся (возрастет доход, упадет преступность и т. д.), и точка сдвинется. С течением времени ее перемещение образует геометрический образ эволюции общества — некоторую кривую, называемую траекторией (математики довольно давно начали переходить от написания формул к рисованию подобных картинок).

Траектория определяется законами эволюции общества. Если эти законы неизменны, в фазовом пространстве возникает область, притягивающая к себе траектории, — аттрактор.

Представим себе озеро в горной котловине. Когда капля воды («точка») попадает на склон, она скатывается вниз. Какой именно путь она при это проделает, зависит от рельефа местности, но в конце концов она попадет в озеро-аттрактор. Озеро может быть стоячим, вроде болота, но в нем могут быть и свои течения, потоки, водовороты, возникающие под влиянием ветра, перепада температур, рельефа дна. Дальнейшая история капли может оказаться весьма замысловатой, хотя озеро и не будет менять своих очертаний. Таким образом, мы получили аналоги терминов «аттрактор» (озеро), «фазовое пространство» (местность), «законы эволюции» (рельеф местности и течения в озере). Аналогом «области притяжения аттрактора» является бассейн озера, т. е. та часть местности, которая питает его водой. Размер этой области показывает, насколько существен аттрактор, как много траекторий он притягивает.

Пусть $x_1, x_2 \dots, x_{100}$ на рис. 2 — различные параметры, описывающие общество, координаты фазового пространства; A — аттрактор (в данном случае точка, некоторое неизменное состояние); G_1 — его область притяжения. Траектория, начинающаяся в любой точке области G_1 (например, в точке B на рис. 2а), с течением времени стремится к аттрактору A .

Однако со временем могут меняться сами правила изменения общества. Они обычно меняются очень медленно (именно с такими «медленными переменными» и была связана эволюция бифуркационных параметров λ^* на рис. 1). Не так давно было открыто интересное явление — катастрофическое, скачкообразное изменение области притяжения аттрактора, получившее название «метаморфоза области притяжения». Развивая географическую аналогию, предположим, что рельеф местности медленно менялся, и в конце концов один из ручьев, питавших озеро, промыв новое русло, потек в соседнюю котловину. Бассейн озера резко, скачком, изменился.

Приведем простой «околоисторический» пример. Допустим, при данном значении параметра траектория, выходящая из точки B , стремится к аттрактору A . Именно аттрактор A определяет, как иногда говорят историки, тенденции развития. Будучи предметом рефлексии общества, эти тенденции порождают определенные религиозные верования, философские системы, научные теории. Но ситуация изменилась, область притяжения аттрактора A уменьшилась, и точка

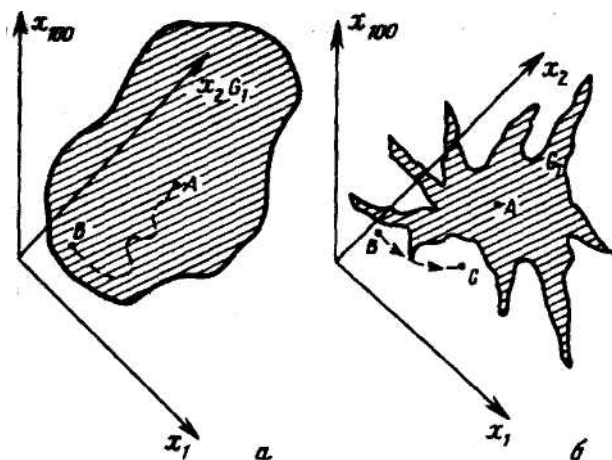


Рис. 2. Метаморфоза области притяжения аттрактора A приводит к изменению «цели» исследуемой системы. Размерность этого фазового пространства может быть очень велика, и в нем может быть такая координата, как x_{100}

C , в которую мы пришли из точки B , с течением времени (см. рис. 26) уже не принадлежит, к нашему сожалению, области притяжения аттрактора A . Внешне, если иметь в виду ближайшую перспективу и локальную окрестность нынешнего состояния, почти ничего не изменилось. Однако в историческом, долговременном плане перемены оказываются радикальными — у общества изменилось будущее, «цель развития». Наверное, было бы любопытно проанализировать с этой точки зрения отдельные периоды в истории различных цивилизаций.

Первые шаги

В становлении любого научного направления огромную роль играет решение конкретных задач. Перечислю несколько задач из области теоретической истории, работу над которыми можно было бы начать в ближайшей перспективе.

Ситуационное управление и «прикладная политология» с точки зрения истории. Мы живем и часто успешно действуем в мире весьма сложных объектов. Как же нам это удастся без теоретического анализа и математического моделирования? Ответ, который дает системный анализ, достаточно прост. Мы имеем дело с *ситуационным управлением*. То есть у нас есть некий набор стандартных ситуаций и рецептов, предписывающих определенные действия в этих ситуациях. Эти рецепты могут быть основаны на личном опыте, стереотипах массового сознания или произведениях искусства. Это именно тот путь, по которому большей частью идут политологи.

Когда мы имеем дело с редкими, но исключительно важными ситуациями либо ситуациями, где цена ошибок весьма велика, эти рецепты должны быть тщательно проанализированы и разработаны. Разработка и совершенствование таких рецептов уже не первое столетие являются одним из главных направлений работы генеральных штабов. По этому пути идут сейчас специалисты по ликвидации последствий природных и техногенных катастроф.

Одной из главных задач теоретической истории мог бы стать междисциплинарный анализ принимаемых государственных решений и их последствий в различные эпохи в аналогичных или, напротив, разных ситуациях, в разных социально-экономических и военно-стратегических масштабах и контексте.

Помимо анализа, проводимого с конкретными прагматическими целями, которым обычно занимаются политологи и представители специальных служб, могут быть поставлены и решены интересные научные задачи. К исследовательской

программе, которую, к примеру, ставил перед собой Н. Макиавелли, на новом витке развития науки, с учетом огромного исторического опыта можно подойти совершенно иначе. Такой анализ помог бы лучше понять прошлое, представить поле возможностей и по-другому посмотреть на будущее.

«Измена элиты» и «пограничные состояния» общества. В предшествующих попытках имитационного моделирования исторических процессов, в частности пелопонесских войн, которые предпринимались сотрудниками Вычислительного центра АН СССР и исторического факультета МГУ, использовались два основных класса математических моделей — «макроэкономические» и модели боевых действий [23, 24]. При этом невольно предполагалось, что в главном интересы всех жителей государства совпадают, т. е. все заинтересованы в победе и никто не заинтересован в поражении (либо действиями последней группы можно пренебречь).

Однако в эпоху пассионарного надлома ситуация может быть совершенно иной. У руководства страной может оказаться элита, «ставящая на развал» и готовая предпринять «операцию против воли больного». Анализ этих ситуаций представлял бы большой интерес. Он предполагает разработку особых социологических и социально-психологических моделей.

Исследовательские проекты типа «Альтернативная история». Тойнби в нескольких небольших работах предложил анализ альтернативных путей исторического процесса в некоторых поворотных пунктах [25].

Сейчас в связи с возникновением ряда новых инструментов моделирования и компьютерного исследования возможности для такого анализа многократно возросли, и было бы неразумно ими не воспользоваться.

Вероятно, поначалу использование методов точных наук возможно в определенных границах, а именно: с одной стороны, мы должны знать об исследуемой исторической эпохе достаточно много, чтобы строить достаточно достоверные и реалистические модели; с другой стороны, общественная жизнь должна быть еще сравнительно простой, чтобы интересный анализ мог быть проведен на уровне относительно элементарных моделей.

Считаю приятным долгом поблагодарить Н. Н. Моисеева, С. П. Курдюмова, И. Г. Поспелова, А. Б. Потапова за обсуждение широкого круга проблем, связанных с «мягким моделированием», а также участников семинара Л. И. Бородкина на историческом факультете МГУ и членов «Андреевского клуба», созданного Н. В. Карловым, за проявленный к этому кругу проблем интерес. Я искренне признателен Т. А. Палеевой и В. Г. Комаровой за большую помощь в оформлении этой работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Князева Е., Курдюмов С.* Синергетика: начала нелинейного мышления // *Общественные науки и современность.* 1993. № 2. С. 38—52.
2. *Аршинов В., Свирский Я.* Философия самоорганизации. Новые горизонты // *Общественные науки и современность.* 1993. № 3. С. 59—70.
3. *Гамаюнов С.* От истории синергетики к синергетике истории // *Общественные науки и современность.* 1994. № 2. С. 99—113.
4. *Венгеров А.* Синергетика и политика // *Общественные науки и современность.* 1993. № 4. С. 55—67.
5. *Назаретян А. П.* Агрессия, мораль и кризисы в развитии мировой культуры. Синергетика исторического прогресса. М., 1996.
6. *Митина О., Петренко В.* Динамика политического сознания как процесс самоорганизации // *Общественные науки и современность.* 1995. № 5. С. 103—115.
7. *Моисеев Н. Н.* Естественнонаучное знание и гуманитарное мышление // *Общественные науки и современность.* 1993. № 2. С. 63—75.
8. *Географическое пространство: соотношение знания и незнания. Первые сократические чтения по географии.* М., 1993.

9. *Batty M.* Generating urban forms from diffusive growth // *Environment and Planning. A.* 1991. V. 23. P. 511—544.
10. *Limits of predictability.* New York, 1994.
- И. *Ахромеева Т. С., Курдюмов С. П., Малинецкий Г. Г., Самарский А. А.* Нестационарные структуры и диффузионный хаос М., 1992.
12. *Блок М.* Апология истории или ремесло историка. М., 1986.
13. *Смирнов С. Г.* Задачник по истории древнего мира. М., 1994.
14. История и компьютер: новые информационные технологии в исторических исследованиях и образовании. *Göttingen — Moscow, 1993.*
15. *Моисеев Н. Н.* Математика ставит эксперимент. М., 1979.
16. *Круг идей: развитие исторической информатики.* М., 1995.
17. *Постон Т., Стюарт И.* Теория катастроф и ее приложения. М., 1980.
18. *Клименко В.* Россия: тупик в конце туннеля? // *Общественные науки и современность.* 1995. № 5. С. 78.
19. *Малинецкий Г. Г., Потапов А. Б.* Нелинейность. Новые проблемы. Новые возможности. М., 1994.
20. *Малинецкий Г. Г., Потапов А. Б., Мишин Н. А., Шакаева М. С.* Развитие высшей школы. Опыт компьютерного моделирования // *Труды второй международной конференции «Математика, компьютер, образование».* Москва — Пущино, 1995. Вып. 2.
21. *Тойнби А. Дж.* Постигание истории. М., 1991.
22. *Ласло Э.* Век бифуркации. Постигание изменяющегося мира // *Путь.* 1995. № 7. С. 16.
23. *Гусейнов А. С., Кузищин В. И., Павловский Ю. Н., Устинов В. А.* Опыт имитационного моделирования историко-социального процесса // *Вопросы истории.* 1976. № 11.
24. *Павловский Ю. Н.* Имитационные системы и модели. М., 1990.
25. *Тойнби А. Дж.* Если бы Филипп и Артаксеркс уцелели // *Знание — сила.* 1994. № 8. С. 60—65.

© Г. Малинецкий, 1996