**Синергетика и системный синтез**

С.П. Курдюмов, Г.Г. Малинецкий

Громада двинулась и рассекает волны. Плывет. Куда ж нам плыть?  
А.С. Пушкин

**Синергетика в контексте культуры**

Опыт в развитии междисциплинарных исследований научное сообщество накопило небольшой. Развитие кибернетики имеет только полувековую историю, а возраст синергетики -всего три с небольшим десятилетия.

Поэтому у нас нет возможности, как у умудренных жизнью мэтров, пользоваться оборотами "как всегда", "как это обычно бывает", "помнится раньше" ... У нас все впервые. И это гораздо интереснее.

Многие черты в развитии синергетики и современной науки в целом выглядят как парадоксальные. Удачное слово "синергетика", родившееся с легкой руки Германа Хакена, в 70-х годах быстро завоевало популярность. Сначала в него вкладывали простой и ясный смысл. Синергетика - это теория самоорганизации в системах различной природы. Она имеет дело с явлениями и процессами, в результате которых у системы - у целого - могут появиться свойства, которыми не обладает ни одна из частей. Поскольку речь идет о выявлении и использовании общих закономерностей в различных областях, то этот подход предполагает междисциплинарность. Последнее означает сотрудничество в разработке синергетики представителей различных научных дисциплин.

Время шло, собирались научные конференции, издавались отличные книги, о которых хочется вспомнить добрым словом. Дело дошло до учебников и даже до преподавания синергетики не только в вузах, но и в средних школах. (Блестящий опыт такого рода имеется в Саратовском колледже прикладных наук, существующем под крылом местного университета.)

Все примерно так же, как у других наук. Один из авторов этих строк даже сравнивал первые международные конференции по синергетике с Сольвеевскими конгрессами, сыгравшими важную роль на заре квантовой механики. Однако нет, не все так просто. Чтобы убедиться в этом, достаточно перелететь через океан. Например, такие привычные понятия, как "параметры порядка", "диссипативные структуры", "самоорганизация", и многие другие синергетические термины не знакомы большинству местных исследователей, не говоря уже о студентах. Неведомы им и "синергетические классики".

Как же они без этого обходятся? Очень просто - они опираются, занимаясь теми же задачами, на другие работы, иногда на иной аппарат и, разумеется, на местных классиков. Вместо "самоорганизации" говорят о "выходе системы на инерциальное многообразие", вместо "синергетики" - об "идеях теории сложности" и так далее.

За этим курьезным фактом стоят не только амбиции ученых (роль "субъективных факторов" в развитии науки трудно переоценить), но и важные особенности синергетики, отличающие ее от "обычной" науки. Почему сравнительно просто научить школьной алгебре, геометрии или физике? Потому что, во-первых, есть небольшой конкретный материал про то, что и как вычислять, строить или измерять в простейших случаях. Во-вторых, есть четко очерченная область, в которой эти правила следует применять, чтобы получать ответы, за которые поставят пятерку, а то и дадут приз на олимпиаде. То же относится и к другим физико-математическим наукам.

Синергетика от этой благостной картины отличается в двух отношениях. Во-первых, в ней нет простых и ясных рецептов, что и как надо считать. Она, скорее, помогает задавать вопросы, искать системы, которые могут обладать необычными свойствами, выделять общие черты в конкретной задаче. Разумеется, в ней есть и концепции, и понятия, и модели, и аппарат. Но применимы ли они к той проблеме, с которой пришел в синергетику исследователь или которую он собирается поставить, обычно совершенно не ясно. В "хороших науках" дело обстоит не так - если есть задача в задачнике, то точно все должно быть применимо. И дело только в изобретательности и настойчивости применяющего. Во-вторых, междисциплинарность подразумевает два этапа. На первом специалист из какой-то области обращается к идеям и представлениям синергетики. Применяет их к своей проблеме. Это удается очень многим. На втором этапе он возвращается с полученным результатом в свою область и убеждается сам в нетривиальности последнего и демонстрирует ее коллегам. Со вторым этапом справляется гораздо меньшее количество ученых.

"Искусству задавать вопросы" научить намного труднее, чем "искусству получать ответы". Первое в гораздо большей степени зависит от научного и общекультурного контекста, с которым работает ученый. Как говорят филологи и специалисты по машинному переводу, текст обычно содержит лишь 10% информации, 90% определяется контекстом, который мы привносим, воспринимая сообщение. По-видимому, этот синергетический эффект относится и к научному творчеству. С другой стороны, междисциплинарные подходы очень обогащают тот контекст, в котором работает ученый.

Вероятно, поэтому отечественной научной культуре обобщающие идеи синергетики оказались очень близки. Для многих классиков русской и советской науки было характерно стремление увидеть общее в различных дисциплинах и на этой основе получить оригинальные результаты в каждой их них. При этом организация дальнейших исследований, усилия по изменению отношения общества к научным результатам, выращивание учеников, непосредственное участие в государственных делах ценились научным сообществом весьма высоко.

Вспомним М.В. Ломоносова, который занимался и химией, и физикой, и историей, и филологией, который "сам был нашим первым университетом". Дмитрий Иванович Менделеев был не только великим химиком, видным общественным деятелем, много сделавшим для развития промышленности в целом, и нефтехимии в частности, в своем отечестве. Он был блестящим профессором, написавшим основополагающие учебники, демографом, выдающимся экономистом. И свои работы по обоснованию государственной поддержки отечественных предпринимателей - политики протекционизма - сам он оценивал не менее высоко, чем свои исследования по химии.

Любопытно, что и в то время "междисциплинарность" опиралась на прочный естественнонаучный фундамент, на использование математики. В этой связи интересна мысль одного из самых блестящих политиков России - Сергея Юльевича Витте, способствовавшего многократному увеличению протяженности сети железных дорог, осуществившего одну из наиболее удачных денежных реформ, заложившего основы политехнического образования в России и предсказавшего ход исторических процессов на десятилетия вперед. Он, получивший физико-математическое образование, делил всех математиков на "математиков-вычислителей" и "математиков-философов". С.Ю.Витте ценил вторых гораздо выше а полагал, что их мнение, совет и исследования могут быть весьма важны в государственных делах.

Широтой интересов отличался и В.И. Вернадский. С одной стороны, он - основатель геохимии и организатор ряда геологических изыскательских работ. С другой, глубокий философ, увидевший в формировании ноосферы надежду для человечества, прозорливо предсказавший огромное будущее атомной энергии на заре XX века.

Президент Академии наук СССР М.В. Келдыш, с именем которого связывают успехи в освоении космоса, в создании ряда систем стратегических вооружений в нашей стране, пришел в науку как чистый математик. На его научном пути - и работы по теории несамосопряженных операторов, и теория флаттера, давшая ключ к пионерским инженерным решениям, и обоснование научной стратегии сверхдержавы, и мечты о дальнем космосе.

Большое влияние на отечественные междисциплинарные исследования в последние десятилетия оказывала деятельность недавно ушедшего от нас академика Н.Н. Моисеева. Его работы по автоматическому управлению, нелинейной механике, анализу экономических механизмов, оптимизации, системам поддержки принятия решений, рефлексивным процессам привели к созданию ярких самобытных научных школ. Последние его работы по экологии, связанные с концепцией устойчивого развития, по философии, где он выдвинул концепцию универсального эволюционизма, по анализу сценариев выхода России из системного кризиса не всегда находили понимание. Помнится, с какой горечью он рассказывал одному из авторов о своей беседе с высокопоставленным (впрочем, правильнее, наверное, было бы писать в два слова) чиновником. Он предложил развернуть работы по научному обоснованию стратегических транспортных проектов - трансевразийской магистрали и Северного морского пути. Великий "путь из англичан в японцы", как он говорил, возможен благодаря уникальному евразийскому положению России и ее научно-техническому потенциалу. "Вы - математик. Ну и занимайтесь математикой, а в наши дела не лезьте", - услышал он в ответ на свои предложения. Но времена меняются. Давно простыл след временщика, беседовавшего с академиком. А многие идеи Н.Н. Моисеева вновь и вновь переосмысливаются или переоткрываются.

Но ведь возможно и другое отношение к науке, ей может принадлежать иное место в культуре. В одной из книг Джордж Сорос поставил под сомнение саму концепцию объективной истины. При таком взгляде развитие науки представляется дорогой от одного заблуждения к другому, возможно, более удобному и выгодному в данной конкретной ситуации. Если же появляется еще и "рыночный компонент", возможность с помощью рынка "оценить" ученого, то все еще более упрощается. Небезызвестный герой Джона Голсуорси считал, имея в виду искусство, что любая ерунда, за которую платят деньги, уже не ерунда. Но с такой же меркой можно подойти и к науке.

Для такой "рыночной" организации науки большой ценностью оказывается конкретность и узкая специализация, а не широта мышления или целостность восприятия проблемы. Естественно, в таком научном сообществе междисциплинарные подходы не будут слишком популярны. (Впрочем, там есть свои и достаточно большие плюсы.)

Существует широко распространенная иллюзия, что Интернет принципиально изменил стиль научной работы. На первый взгляд, кажется, что иначе и быть не может. Во-первых, стало возможно создание "виртуальных лабораторий", сотрудники которых могут жить на разных материках, но тем не менее работать вместе. Во-вторых, стали широко доступными огромные массивы информации и банки данных. В-третьих, предоставлена возможность сообщать о результатах практически фазу после их получения. В-четвертых, появились телеконференции, где можно вести дискуссии со многими оппонентами и эффективно выявлять недостатки той или иной позиции.

Тем не менее, на наш взгляд, глобальные компьютерные сети изменили науку гораздо меньше, чем торговлю, промышленность, банковское дело, средства массовой информации или индустрию развлечений. Причина этого проста - самым инертным и самым важным звеном в науке является человек. Научный прогресс лимитируется не быстродействием компьютеров или объемом банков данных, а нашей способностью генерировать новые идеи, осмысливать информацию, искать причинно-следственные связи.

Более того, во многих отношениях ситуация стала хуже. Огромный поток информации заставляет узко и избирательно просматривать очень малый фрагмент какой-либо области знаний. Не редки ситуации, когда близкие соседи не знают об исследованиях друг друга. Во времена Ньютона и Лейбница, когда не было научных журналов в нынешнем понимании слова, один исследователь слал письма другому. В нынешней ситуации коллеги, как правило, не представляют себе, в чем суть твоей работы, если ты им лично не послал статью по электронной почте. На новом уровне мы вернулись к прежнему положению вещей.

Но ведь искусство невозможно без зрителей, слушателей, читателей, так же как наука - без коллег, без среды, без обсуждения, без критики, без диалога. В нынешней ситуации все это обеспечивают научные семинары, проводимые в институтах или университетах. Неформальное научное сообщество, к которому относят себя авторы настоящего сборника, во многом сложилось благодаря научному семинару по нелинейной динамике в Институте прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН. О проблемах, обсуждавшихся на нем, дают представление несколько книг, вышедших в этой серии в "Науке" и других издательствах.

История показывает, что в переломные моменты развития науки и технологии наблюдались несколько типичных явлений. Первое - неоправданный оптимизм в отношении новшеств и новых научных направлений. Второе - большая роль личных контактов между исследователями. Гораздо большая, чем в периоды медленного, эволюционного развития.

Поэтому и в нынешней отечественной синергетике огромную роль играют регулярно проводимые научные конференции, школы, семинары, другие встречи, позволяющие передавать не только идеи, но и традиции от одних поколений к другим. В качестве "хрестоматийных" примеров можно привести школы для молодых ученых и конференции, проводимые в Саратове под началом ректора Саратовского государственного университета член-корр. РАН Д.И.Трубецкова и его коллег. Другой пример - ежегодные конференции "Математика, компьютер, образование", проводимые во многом благодаря энергии и самоотверженности профессора кафедры биофизики биофака МГУ, президента ассоциации "Женщины в науке и образовании" Г.Ю. Резниченко. Большое влияние на "нелинейное научное сообщество" оказывают международные конференции "Проблемы управления безопасностью сложных систем", проводимые в Институте проблем управления РАН профессором В.В. Куль-бой и его единомышленниками.

В последние 10 лет эти конференции позволили решить еще одну важную задачу - найти место междисциплинарных исследований, увидеть те проблемы, области, "экологические ниши", где такие работы могут быть поняты и востребованы. Не секрет, что значительная часть междисциплинарных исследований за рубежом проводилась и сейчас проводится по заказам государственных структур, формирующих стратегию и политику, по заказам военно-промышленного комплекса, заинтересованного в поиске принципиально новых решений и технологий. В самом деле, исследование операций выросло в основном из задач планирования боевых действий, анализ диссипативных структур - из физики плазмы, теории горения и взрыва, исследования динамического хаоса - из задач прогноза и методик защиты информации. Ведущие военно-промышленные центры становились и лидерами в области нелинейных исследований. Например, Центр нелинейных исследований в Лос-Аламосе (США) вырос из лаборатории, занимавшейся ядерным оружием. В Институте прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН интенсивное развитие методов нелинейного анализа и их применение опиралось на научный фундамент, заложенный при решении оборонных задач.

Когда этот государственный и военно-промышленный заказ на "нелинейную науку" в нашей стране на длительное время исчез, пришлось всерьез пересматривать тематику, существенно менять акценты. На наш взгляд, это удалось сделать. Это наглядно показывают и статьи, вошедшие в настоящий сборник. Исследователи, как убедится читатель, шли разными путями. Одни сосредоточили внимание на математическом аппарате синергетики, другие увидели высокие технологии, где концепции, методы, идеи синергетики дают новые возможности, третьи связали нелинейную динамику с глобальными проблемами, с управлением, с новыми стратегиями, четвертые ищут место синергетики в гуманитарных областях. И кроме того, нельзя упускать из виду возможность, что сменится поколение руководителей, и вместо того, чтобы ломать и бездумно копировать, новые люди будут строить и искать свои пути в будущее. Тогда, глядишь, и традиционные задачи, связанные с междисциплинарными исследованиями, окажутся востребованными.

На конференциях, где рассматривались проблемы искусствоведения или культурологии с позиций синергетики, часто вставал вопрос: к какому стилю, к какому направлению искусства синергетика ближе всего по духу. Выскажем и наше мнение. Конечно, это не постмодерн с его эклектикой, технологией комбинирования различных фрагментов, коллажем из предшествующих идей, штампов, приемов, образов. Это, скорее, стремление увидеть предмет в его целостности. Синергетика предлагает новое видение, новые способы упрощать реальность. Эта "новая простота" помогает не "утонуть" в деталях и порой выглядит достаточно необычно. Например, задачи и подходы "синергетической экономики" или "рефлексивной теории управления" кажутся странными и парадоксальными, с точки зрения традиционных подходов. Но именно эти синергетические подходы гораздо ближе к описанию многих явлений в новой реальности - глобальных финансовых кризисов, роста "новой экономики" (knowledge-based economy, как ее называют наши англоязычные коллеги). Поэтому, вероятно, нынешнему этапу развития синергетики созвучны образы и мировидение импрессионизма. Здесь и обостренное внимание к целому, к тому, что делает его большим, чем сумма слагающих его частей. Здесь и новое отношение к вечному и преходящему, акцент на переходных, переломных, ускользающих от неспешного наблюдения моментах. Это новые краски, образы.

Авторам этих строк часто приходилось отвечать на вопрос - чем взгляд и подход синергетики отличается "от того, что было раньше". Начнем издалека. Ньютон, Лаплас, классики эпохи Просвещения смотрели на мир "с позиции Господа Бога". Это, с одной стороны, вера в глубину и совершенство замысла Творца и надежда, что простые универсальные законы существуют, познаваемы, а их использование будет исключительно полезным. Это вера в торжество разума - как бы ни были сложны уравнения, следующие из этих законов, сколько бы их ни было, их удастся решить. Это глобальный детерминизм - уверенность в том, что можно, решив уравнения, заглянуть как угодно далеко в будущее и в прошлое.

Времени с тех пор минуло много. И на новом витке развития науки эти идеи и представления возродились в связи с быстрым ростом возможностей компьютеров. Наверное, некоторые из читателей этой книги помнят, как строились имитационные модели в экономике, в медицине, в биологии, в экологии. Сотни и тысячи уравнений, сотни тысяч параметров, потребных для моделей, не смущали энтузиастов. Многим, видимо, помнятся речи о вычислительном эксперименте. Последний должен был дать огромный импульс развитию науки, позволяя учитывать десятки и сотни эффектов, извлекать из теории следствия, о которых раньше и не мечтали. И, конечно, все это чище, дешевле, точнее и быстрее, чем в обычном эксперименте. Можно упомянуть и бум с автоматизированными системами управления, сулившими огромные перспективы.

Энтузиасты этих подходов не видели ни пределов, ни ограничений. Одному из авторов довелось слышать по этому поводу на научном семинаре такой диалог.

-А есть ли задачи, к которым такой подход неприменим? - спросил потрясенный открывшимися перспективами слушатель,

- Может быть и есть, но я ни одной такой не знаю, - с гордостью и уверенностью ответствовал докладчик.

Но пределы обнаружились. И довольно быстро. Во-первых, принципиальные, объективные, независимые от человека, В теории динамического хаоса - важной области нелинейной науки- было убедительно показано, что даже для довольно простых детерминированных систем (в которых будущее однозначно определяется настоящим) существует горизонт прогноза. Заглянуть за этот горизонт в общем случае нельзя, какую бы мощную вычислительную технику и какие бы эффективные алгоритмы исследователи ни использовали. Сейчас теория само организованной критичности - новый фаворит синергетики - показывает, что для многих сложных иерархических систем типичны редкие катастрофические события. Поэтому "настроить" модели - определить необходимые параметры, - опираясь на предысторию, для таких объектов достаточно сложно.

И все же, как нам кажется, главным барьером, вставшим на пути многих вдохновляющих проектов, связанных с компьютерным моделированием, стало чисто человеческое ограничение. Это ограничение условно можно назвать "барьером понимания". Оказалось, что наши возможности вычислять, моделировать, управлять, имитировать то, что мы не понимаем, весьма ограниченны. Многие надежды, которые сегодня возлагаются на синергетику, связаны прежде всего с теми задачами, которые лежат вблизи "барьера понимания", с новым взглядом на них.

**Системный синтез**

Существо дела можно пояснить на примере концептуальной модели, возникшей вначале в совершенно конкретном контексте. Зададим общий вопрос - почему нам что-то удается описывать и предсказывать? В самом деле, человек "с технической точки зрения" сильно проигрывает ЭВМ, Скорость срабатывания нервных клеток - нейронов - у него в миллион раз меньше, чем у триггеров в персональном компьютере. Информация передается в нервной системе тоже в миллион раз медленнее, чем в вычислительной машине, поскольку связана и с электрическими, и с химическими процессами. Да и "выходные параметры" у человека достаточно скромные. По данным психологов, он может следить не более чем за семью непрерывно меняющимися во времени величинами, эффективно работать не более чем с 5-7 людьми. Вместе с тем многие задачи человек решает гораздо лучше компьютеров. Можно только удивляться тому, что понадобилось почти полвека интенсивного развития вычислительной техники, чтобы машины начали уверенно обыгрывать людей в шахматы.

Это означает, что наше мышление, восприятие, способность предвидеть опираются на иные, "некомпьютерные" алгоритмы. В отношении их была высказана следующая гипотеза. Рассмотрим фазовое пространство, в котором лежат переменные, описывающие нашу реальность. Оно очень велико, и принять во внимание все переменные в нем человек не в силах. Но, очевидно, есть ситуации, области в фазовом пространстве, где, для того чтобы понимать и предсказывать происходящее, достаточно несколько параметров. Другими словами, иногда существуют проекции на подпространство меньшего числа переменных, которые адекватно отражают происходящее во всем огромном пространстве переменных. Эти подпространства были названы руслами.

Размерность русла (то есть число переменных в этой проекции реальности) невелико. Психологи говорят о семи переменных, но наш читатель знает, что вообразить себе нетривиальный четырехмерный объект уже непросто.

И если у нас для описания реальности есть подходящее русло, то тут можно строить достаточно простые и эффективные теории, понимать происходящее, просчитывать варианты, находить эффективные поведенческие стратегии. В синергетике эти наиболее важные переменные, характеризующие русло, называют параметрами порядка.

Синергетика решила множество задач, в которых понято, каковы эти параметры для различных физических, химических или биологических систем, как искать связи между этими параметрами, как "на пальцах" пояснить происходящее, не выписывая каких-либо уравнений. Как ищут русла живые системы, как научить этому нейронные сети - это, на наш взгляд, фундаментальная задача нейронауки. (Нейронаукой все чаще называют междисциплинарный подход, родившийся на стыке когнитивной психологии, нейробиологии, вычислительной математики, теории рефлексивного управления, нейрофизиологии, других дисциплин, направленный на выявление механизмов работы мозга, моделирование элементов мышления, объяснение феномена сознания.)

Другими словами, там, где дело касается русел, сложные системы удается описывать просто. И тут синергетика имеет и методы, и подходы, и успехи, и образцы для подражания.

Но реальность может быть устроена и более сложно, с чем мы регулярно сталкиваемся. Русло кончается (определить когда это происходит - отдельная важная задача), и число переменных, которые определяют ход процесса, быстро растет, горизонт прогноза уменьшается, мы не можем "просчитать ситуацию", появляется возможность резких изменений.

Такие области в фазовом пространстве были названы областями джокеров, а сами правила, по которым начинает вести себя система, - джокерами. Название связано с игральной картой - джокером, которая, в зависимости от желания играющего, может стать любой другой картой. Наличие джокера в колоде намного увеличивает неопределенность и усложняет ситуацию.

В задачах, построенных на материале естественных наук, джокеры могут быть связаны с тем, что в этой области фазового пространства определяющими становятся "быстрые переменные", в то время как русла определялись медленными. Джокер может быть связан с точкой бифуркации, когда малые флуктуации, случайный шум могут определить ход процесса. Области джокера удобно выделять, рассматривая некоторые типы перемежаемости (например "переключательная перемежаемость" on-off intermittency, для которой С.В. Ершовым была построена замечательная модель в связи с описанием жесткой турбулентности). Одним словом, в моделях естествознания есть много места для джокеров. При этом нам приходится, как правило, менять тип описания - то прибегать к вероятностному языку, то строить асимптотики, существенно отличающиеся от тех, что характерны для русел, то каким-то способом учитывать влияние других уровней организации материи.

Но еще более важны и интересны джокеры в тех ситуациях, когда речь идет об обществе, об истории, экономике, политике или о человеке. В области русла можно опираться на простые Детерминированные модели, на несложные закономерности. Те, кто сталкивался с экономикой, помнят, насколько просты модели, построенные большинством Нобелевских лауреатов в этой области. Тут дело, по-видимому, не в самих моделях, а тех руслах, к которым они относятся и которые смогли увидеть исследователи. И тут все похоже на "физику" и "технику". Заметьте, как часто политики говорят об "экономических механизмах" и "социальных технологиях".

Совершенно иначе приходится описывать реальность в области джокера. Огромное влияние приобретают случайности, игровые моменты, сплошь и рядом становится необходимым вероятностное описание. Выбор в таких случаях сложен, потому что приходится принимать в расчет слишком многое, что оставляет простор для субъективных факторов.

При этом в критических ситуациях факторами, упорядочивающими реальность, оказываются такие плохо поддающиеся формализации сущности, как мораль, убеждения, нравственность, предшествующий опыт. При этом, в отличие от моделей точных наук, здесь многие величины могут меняться скачком. Это уровень доверия, ожидания, связываемых с будущим. В теории рефлексивного управления это было осознано давно. Однако последние десятилетия обогатили теорию разнообразной практикой. В качестве примера можно привести технологии "организованного хаоса" - одни из самых эффективных методов финансовых спекуляций, по мнению упоминавшегося Дж. Сороса, которому в этом вопросе явно можно доверять.

В самом деле, тот, кто осознал, что система уже находится в области джокера, получает большую фору перед теми, кто еще думает, что "все идет нормально". Здесь и "стратегии с потерей непрерывности", которые все чаще применяются в международной жизни, когда абсурдные, нелогичные, не вытекающие из всего прошлого акции одних стран могут радикально изменить ситуацию и помочь им добиться своей цели малой ценой.

Психологи называют это "эффектом Беттельхейма" - человек пытается увидеть логику противной стороны, как-то объяснить с разумных позиций происходящее, в то время как оно заведомо абсурдно и алогично. В представления теории русел и джокеров прекрасно укладываются PR-технологии, как их красиво называют журналисты, или технологии манипулирования сознанием, как их именуют социологи. Суть дела прекрасно показана в американском фильме "Хвост виляет собакой", где для того чтобы замять скандал с правящим президентом, за несколько дней до новых президентских выборов нужно устроить имитацию маленькой победоносной войны. При этом совершенно неважно, что происходит на самом деле, важно лишь то, что увидят телезрители, которым предстоит голосовать. Чтобы заставить людей поступать вопреки своим достаточно очевидным интересам, нужно перевести их в "область джокера", дезориентировать, хотя бы временно, в том, что касается смыслов, ценностей, предпочтений, ожиданий.

На какое-то время вместо одного русла, со своими параметрами порядка, в сознании возникает другое, именно то, на которое рассчитывают манипуляторы. Не надо объяснять читателю, насколько это важно, какой большой практический опыт здесь накоплен. Многие специалисты считают этот способ воздействия на общество информационным управлением - главным в постиндустриальную эпоху.

И отечественные, и зарубежные синергетики не раз писали, что здесь представления теории самоорганизации могут оказаться исключительно важными. И мы с ними совершенно согласны. Собирались конференции, публиковались статьи, выдвигались исследовательские программы. И авторы этих строк, признаемся честно, не раз ко всему этому прикладывали руку. И все же следует признать, что здесь пока не хватает ни понимания, ни интересных моделей. Но мы надеемся, что у синергетики еще многое впереди.

И вновь вернемся к началу этого раздела. А что, собственно, надо, чего не хватает? Да только одного по большому счету. И для понимания процессов и явлений, и для управления надо уметь выделять небольшое число параметров, определяющих их ход, и выявлять взаимосвязи между ними. Нужен системный синтез.

В самом деле, накопленный запас знаний и достигнутый современной наукой уровень позволяют сплошь и рядом выявлять детали, тонкости и частности, находясь в пределах любой научной дисциплины. Происходит анализ - расщепление, расчленение в изначальном смысле слова. И даже системный анализ - это тоже выделение отдельных свойств и качеств. Это все-таки анализ.

В то же время нам, чтобы понять, что следует делать, нужно системное, целостное представление об объекте. Такова уж наша человеческая природа - мы не умеем активно оперировать сколько-нибудь большим числом переменных и взаимосвязей. При этом мы осознаем, что в разных ситуациях этот набор переменных будет разным (мы можем оказываться в пределах различных русел). Более того, в области джокера начинают в полную силу играть принципы, мораль, опыт и просто везение, и компьютер может тут нам помочь весьма немногим.

Является ли системный синтез чем-то принципиально новым или это всего лишь удачное слово для того, чем все всегда занимались? И да, и нет. К сожалению, такой ответ можно дать по поводу почти любой крупной научной идеи или программы. (Точно так же нелегко сказать, является ли дом чем-то принципиально новым по сравнению с фундаментом.)

Да - потому что в науке за время ее существования накоплен огромный опыт упрощения и выделения главного. В математике - это огромный арсенал методов осреднения и других асимптотических подходов. В экономике это разнообразные методы агрегирования (о чем бы писали экономические журналы и спорили бы политики, не будь у нас огромного набора замечательных макроэкономических индексов?). Не будь конструкторских, инженерных, во многом интуитивных способов синтеза, сколько-нибудь сложных технических конструкций создать бы не удалось. Громадный опыт сложного многоуровневого синтеза накоплен в программировании. Благодаря такому синтезу создавались и совершенствовались различные организации. Этот список можно продолжить.

Нет - потому что синергетика помогла подойти к системному синтезу как к одной из важнейших черт живых систем, нашего сознания. Она поставила вопрос - как происходит этот важнейший процесс самоорганизации в пространстве признаков, возможностей, степеней свободы? Чудо, пока не доступное компьютерам, состоит в том, что человек может почувствовать или осознать, "нравится" ему что-то или нет. По-видимому, интересно было бы понять, существуют ли универсальные методы системного синтеза, "подсмотреть" их у природы и далее использовать в компьютерных системах.

Синергетика уже научилась в простых ситуациях выделять параметры порядка и искать "русла" и учится сейчас работать с джокерами, с механизмами перехода от одних русел к другим. Готовых универсальных рецептов тут пока нет и их надо искать.

Где нужен системный синтез? Таких задач очень много, и мы приведем только несколько очевидных примеров, показывающих важность этого подхода.

Первый пример можно назвать выбором стратегии. Сейчас очень популярна концепция устойчивого развития. Ее можно провозглашать, говорить о ней общие слова, чем мировое сообщество и наш истеблишмент давно и с удовольствием занимаются. Но, как выразился один известный экономист, "экономика букв не знает и читать не умеет". Что в экономике-то надо делать? В социальной сфере? В научной и технологической политике?

Человек - замечательное существо, умеющее оперировать нечеткими, размытыми множествами. Но иногда в социальных системах это приводит к плачевным результатам. Достаточно вспомнить недоброй памяти горбачевщину, "перестройку", "новое мышление". Разные социальные слои вкладывали в эти понятия свой смысл, и в конце концов верх взяли манипуляторы, обобравшие "молчаливое большинство". Страна оказалась в системном кризисе. Не хотелось, чтобы так же получилось с устойчивым развитием. А поэтому нужны конкретные ясные цели, показатели, определяющие устойчивость развития. Нужны шаги, механизмы, меры, которые экономика "понимает".

В соответствующих международных документах фигурируют сотни показателей. Что из них является параметрами порядка? При этом достаточно очевидно, что для разных стран эти показатели будут различными.

Вопрос об устойчивом развитии слишком серьезен, чтобы его решать с позиций чисто гуманитарной парадигмы. Надо учитывать особенности России, которые очень существенны, использовать возможности точных наук. Здесь существует традиция комплексного системного анализа проблем устойчивого развития, восходящая к работам академика В.А. Коптюга и его единомышленников. До уровня компьютерных моделей дело здесь не доведено, однако важные шаги в этом направлении сделаны. Статьи Д.С. Чернавского с соавторами и С.Ю. Малкова, помещенные в этой книге, на наш взгляд, создают основу для того, чтобы на конкретном математическом и экономическом языке говорить об устойчивом развитии.

Второй пример показывает, что системный синтез позволяет по-новому подходить к осмыслению накопленного опыта и построению баз знаний. Американские коллеги говорят, что между тем моментом, когда выпускник американской школы поступит в университет учиться медицине, и до того момента, когда он сможет начать работать как кардиохирург, проходит в среднем 15 лет. Помимо социальных и субъективных моментов у этого есть и объективная основа. Прежде чем приступить к работе студент должен воспринять огромный практический опыт. Преподаватели и старшие коллеги не могут ему кратко и конкретно рассказать и показать, что он должен знать и уметь. А на самом деле - что?

Естественно, накопление опыта имеет прямое отношение к системному синтезу, к своеобразной самоорганизации в пространстве знаний и навыков. Сейчас математика позволяет выявить, какими категориями и "внутренними решающими правилами" пользуется опытный врач. Как они могут измениться после консилиума и обсуждения с коллегами, каково "русло", которое сформировалось в ходе многолетней практики. Заманчиво было бы учиться быстрее и лучше и главное - тому что надо. Впрочем, и понимание механизмов системного синтеза нельзя сбрасывать со счетов.

**Система координат**

Нам не раз доводилось говорить и писать о том, что сверхзадачами науки в XXI веке, по-видимому, станут три задачи. И востребованность социумом различных научных дисциплин и подходов, в том числе и синергетики, будет зависеть от того, насколько полезными они окажутся в решении этих задач. Исходя из этих проблем, из этой системы координат, мы и расположили статьи в сборнике. Итак, о проблемах.

Проблемы рисков и технологий. Мы живем в технологической, в широком смысле этого слова, цивилизации. Множество проблем - от увеличения продолжительности жизни до заполнения досуга - решаются с помощью технических средств. Они настолько эффективны, что часто создают иллюзию решения задачи там, где его на самом деле нет. Типичный пример - гонка вооружений. Не раз в новейшей истории политикам, военным и ученым казалось, что следующее поколение вооружений обеспечит миру большую безопасность. Альфред Нобель полагал в начале прошлого века, что достаточно страшное оружие сделает войны невозможными. Судя по американским планам развертывания ПРО, многие и сейчас пребывают в этой иллюзии. (Другие откровенно лукавят.)

При этом, как правило, упускают из виду оборотную сторону медали. Каждое новое поколение техники, даже не обязательно военной, очень существенно меняет мир, несет свои риски, угрозы и опасности. При этом становится необходимым широкий, системный взгляд на проблему, позволяющий оценить, стоит ли игра свеч. Кроме того, синергетика может выступить здесь еще в одной роли - подсказать решения различных технологических проблем.

За последние столетия человечество пережило несколько волн нововведений, изменивших мир. Это пар, железные дороги, электричество, компьютеры. При этом каждая такая волна сопровождалась преувеличенными ожиданиями, последующими разочарованиями, кризисом огромных отраслей промышленности и получением больших выгод в тех сферах, где этого трудно было ожидать. Затем следовали аварии, катастрофы и огромная работа, направленная на то, чтобы "вписать" эту технологию в техносферу наиболее безопасным образом.

На рубеже нового тысячелетия мы видим новые поколения технологий, развитие которых может изменить мир и заслуживает самого пристального внимания синергетиков.

Это глобальные системы телекоммуникаций. С одной стороны, с ними связано повышение "наблюдаемости" и "управляемости" нашего мира. С другой стороны, это совершенно другие механизмы влияния на происходящие в мире события, другие источники нестабильностей в таком "прозрачном" мире.

Это микромашины и нанотехнологии. За ними стоят новые материалы, возможность "помолекулярного выращивания" сложных систем, "ремонта" отдельных молекул, новые поколения вычислительных комплексов. Принципиальная новизна таких технологий, затрагивающая и элементную базу, и алгоритмы, и саму постановку задач, стала понятна в связи с обсуждением возможностей создания квантовых компьютеров. И вновь возникают угрозы, связанные с несоответствием между нашими пространственными и временными масштабами и тем уровнем, на котором мы желаем оперировать и вмешиваться в ход процессов, если они нас по каким-то причинам не устраивают. Естественно, для этого нужно множество "посредников" на промежуточных уровнях организации. Самая близкая аналогия - это борьба с вирусами, которая пока человечеству не очень-то удается.

По мнению многих экспертов, на смену Интернет-буму приходит стремительный взлет биотехнологий. Оптимисты говорят о возможностях увеличения "активной жизни" на 20-30 лет уже в ближайшем будущем. "Прочтение" генома человека и ряда других видов тоже сулит огромные перспективы. По существу речь идет о возможности в короткий срок совершить эволюционный скачок. Как показывают данные палеонтологов и модели теории самоорганизованной критичности, результат такого скачка- новое состояние биосферы- в значительной мере оказывался случайным. Так что и в анализе биотехнологий есть большие перспективы для применения методов синергетики, для системного синтеза.

Вторую сверхзадачу можно условно назвать проблемой альтернативной истории и стратегического планирования.

Читая историков Французской революции или мемуары политиков начала века, невольно удивляешься мотивам, аргументам, стратегиям участников исторической драмы. Многие немецкие и английские политики всерьез писали о неизбежности и желательности военного столкновения между ведущими мировыми державами начала века - Англией и Германией. И не только писали, но и активно действовали, приближая это столкновение. Поражает несоответствие их расчетов и масштабов исторических перемен, к которым привели эти действия.

С системной точки зрения это понятно - долго и успешно лавируя в пределах русла, трудно представить себе, что есть области джокеров, где нужны совершенно иные стратегии. Поэтому одной из ключевых задач современной науки является анализ коридора возможностей, которыми сейчас располагают страны, регионы и человечество в целом, анализ альтернатив. Исследовательские программы в этой области, непосредственно связанной со стратегическим планированием, получили название альтернативной, или теоретической истории. При этом крайне важными становятся количественные оценки и компьютерные модели. Еще несколько десятилетий назад Ф. Бродель, исследуя Средневековье, писал, что количественная история дает гораздо более глубокий и точный взгляд на прошлое, позволяет реконструировать многое из того, что при обычном гуманитарном подходе осталось бы "за кадром". Но дело не только в этом. Поскольку стратегическое планирование впрямую затрагивает интересы различных социальных групп, политику и идеологию, то здесь крайне важно увидеть объективную, очень часто количественную основу происходящих событий и наметившихся тенденций.

Но это и предполагает широкое использование методов естественных наук и математического анализа.

Целеполагание, планирование, "проектирование будущего", как его иногда называют зарубежные эксперты, стало неотъемлемой частью работы не только государственных органов, но и всех крупных корпораций. Опыт Госплана СССР тщательно изучен, высоко оценен и принят на вооружение в развитых странах мира. При этом использование методов нелинейной динамики, компьютерного моделирования в этой области позволило вывести планирование на более высокий уровень, сделать его гораздо более эффективным, чем несколько десятилетий назад.

Обратим внимание на два примера, показывающие ключевое значение этих проблем. Первый - прогноз развития мировой динамики до 2015 года, появившийся в 2000 году на сайте Центрального разведывательного управления США. В соответствии с прогнозами, которые там даются, половина населения планеты в 2015 году будет испытывать трудности с питьевой водой. Россия в этом документе рассматривается как источник угроз и нестабильностей, вокруг которого желателен был бы "санитарный кордон". Целесообразным авторам представляется ее расчленение на несколько меньших, лучше управляемых территорий. На наш взгляд, этот документ заслуживает самого широкого внимания, поскольку в нашем "информационном мире" прогнозы очень часто оказываются "самосбывающимися". Происходит именно то, что было предсказано, прогноз становится серьезной силой. Чтобы упомянутое предсказание не сбылось, нужны большие усилия исследователей и всего общества. Для того чтобы найти пути выхода из системного кризиса, увидеть желаемое и возможное будущее и затем создать его.

Второй пример связан с известной программой Г. Грефа - стратегией развития России до 2010 года. Сам факт появления такого плана и долгосрочного прогноза исключительно важен. Он знаменует конец тех десяти с лишним лет, когда пытались жить без плана, без "идеологии", без "измов", руководствуясь только благими намерениями и "общечеловеческими ценностями".

Однако, если оставить в стороне политические предпочтения и конъюнктурные соображения, обращает на себя внимание несколько разительных противоречий. Встает вопрос - на основе каких математических моделей и какой статистики был дан прогноз? Этот вопрос возникает, в частности, потому, что модели, разрабатывавшиеся группой академика А.А. Петрова, дают совершенно другую траекторию будущего развития.

Концептуальные оценки ряда ведущих специалистов РАН, также принципиально отличаются от данных в программе. Проведенный экономико-географический анализ показывает, что в условиях глобализации подавляющее большинство российских товаров будут неконкурентоспособны, поэтому рассчитывать на иностранные инвестиции в эти отрасли не приходится.

В этой связи системный синтез, междисциплинарное исследование возможных будущих сценариев развития России и мировой динамики приобретают исключительное значение. И синергетика здесь может сыграть очень большую роль.

Третья сверхзадача, которая досталась в наследство нынешнему веку,- проблема человека. Предыдущее столетие поставило здесь очень много глубоких вопросов, касающихся различных уровней организации. Маленький ребенок полагает, что лес бескрайний, море безбрежное, а папа с мамой и он сам будут жить вечно. Но он становится взрослым и начинает видеть границы в пространстве, во времени, во многом другом. То же самое относится к наукам - осознание принципов запрета, пределов - признак зрелости. С этой точки зрения, дисциплины, исследующие человека, находятся в начале своего развития. Какие социальные организации и социальные организмы возможны и оптимальны в постиндустриальную эпоху? В какой мере "информационная сущность" человека может быть отделена от "материального носителя"? Каковы потенциальные возможности человека воспринимать информацию с помощью своих органов чувств и воздействовать на окружающее? Каковы законы той информационной "виртуальной" реальности, в которую погружен современный человек? Демографы единодушно говорят о "стабилизации" в недалекой перспективе численности человечества, ученые настойчиво ищут технологии, которые могли бы поддерживать цивилизацию не десятилетия, а века. Здесь также виден переход от экспансии к стабилизации. Каковы возможные варианты культуры и внутреннего мира людей этой эпохи? На каком уровне организации сложности системы можно ожидать феномена сознания? Существует ли у человека и других видов животных универсальный "психологический код", определяющий кодировку информации в нервной системе? (Подобно тому, как универсален "химический код" Вселенной - химические элементы, "биологический" код - набор аминокислот, входящих в живые организмы.)

Попытки ответить на эти вопросы привели к появлению огромного числа фактов, моделей, гипотез, экспериментов, домыслов. Разнообразие элементов мозаики, из которых еще надо создать картину. С одним важным отличием от популярных головоломок, где из множества кусочков следует сложить целое. На коробках таких головоломок ответ обычно уже нарисован, и сразу ясно, как можно получить тигра, парусник или пейзаж. А здесь образ, гештальт, целое еще предстоит увидеть.

**Контуры и фрагменты**

Для современного этапа развития науки характерно, что вопросы, которые решены в одних областях, в других еще не ставились. Связано это и с тем, что в разных научных дисциплинах было разное число прикладных задач и, соответственно, различные усилия вкладывались в их разработку. И с разным возрастом, измеряемым числом парадигм, возникавших в ходе развития разных наук. И "эффектом Лема" - когда фронт научных исследований слишком широк, то ученых не хватает на то, чтобы заниматься всеми интересными и перспективными задачами. Поэтому взгляд на перспективы развития синергетики у физиков, химиков, биологов различен. Чтобы читатель мог взглянуть на синергетику с птичьего полета и увидеть многообразие точек зрения, мы поместили статью, написанную по материалам нашего выступления на Президиуме РАН осенью 2000 года и материалы состоявшейся дискуссии.

Одной из первых и наиболее важных прикладных задач нелинейной динамики была защита информации. Генераторы хаотических сигналов, описываемые динамическими системами с хаотическими аттракторами, давали прекрасный "высококачественный шум". Эта статья показывает, что с этих, не столь уж давних, времен в этой области пройден очень большой путь. Здесь и более глубокое понимание динамики хаотических систем, и новые методы хранения и передачи информации, и конкретные работающие устройства с "хаотической несущей". В развитии техносферы время от времени происходят бифуркации, когда из двух примерно одинаковых технологий одна начнет бурно развиваться, а другая на десятилетия "остается на обочине". Причем сам этот выбор оказывается во многом случаен. По-видимому, такая же ситуация сейчас имеет место в мире телекоммуникаций. Системы, использующие динамический хаос, могут сыграть принципиальную роль в развитии телекоммуникаций третьего и четвертого поколений.

После классической работы Алана Тьюринга 1952 г., в которой была построена математическая модель морфогенеза, системы реакция-диффузия на много лет стали любимым объектом исследования. Однако в настоящее время происходит переход к наноразмерам в микроэлектронике, материаловедении, химических технологиях. Страницы журналов обошла картинка - поздравление сотрудникам фирмы IBM, где число 2000 выложено из отдельных атомов. Современные туннельные микроскопы позволяют и видеть, и создавать такие картинки. Огромный интерес вызывают процессы самоорганизации и самоформирования различных структур на этих масштабах. Естественно, здесь нужны совершенно другие математические модели. Предстоит огромная работа по созданию таких моделей, по их верификация, по переходу от современной "наноразмерной алхимии" к проектированию, моделированию, целенаправленному созданию "молекулярных машин". Анализу основных направлений этой будущей работы и посвящена статья Г.Г. Еленина. Мы восприняли ее как своеобразный прогноз, карту будущих достижений в этой области. Надеемся, что и читатели будут вдохновлены открывающимися перспективами. Многочисленны и разнообразны известные сейчас диссипативные структуры, нестабильности, формы самоорганизации.

Но и среди этого многообразия заметное место занимают структуры, связанные с возникновением упорядоченности в пространстве скоростей. Они начали активно исследоваться в связи с задачами физики плазмы, с проектами управляемого термоядерного синтеза, астрофизическими проблемами, различными плазменными технологиями. Анализ этих задач требует кинетического описания вещества, совершенных алгоритмов, суперкомпьютеров. Пионерские работы в этой области были выполнены в научной школе недавно ушедшего от нас профессора Ю.С. Сигова. Статья его ученика В. Д. Левченко рассказывает о последних продвижениях в этой важной области. И хотя эксперты относят термоядерную энергетику на конец нашего века, исследования надо вести сейчас. Чтобы успеть к этому сроку, а может быть и ускорить события.

Уже несколько десятилетий лазеры, в которых выходящее излучение каким-то образом подается на вход, служат объектом интереса, моделирования, экспериментального исследования. К сожалению, их моделирование требует привлечения одного из самых сложных объектов современной прикладной математики - дифференциальных уравнений с запаздыванием. Классические уравнения с запаздыванием, например уравнение Хатчинсона



при большом запаздывании очень трудно исследовать численно. Поэтому на передний план выходят асимптотические подходы, строгие утверждения, на которые можно опираться, исследуя модели. Возникла положительная обратная связь - оптоэлектроника, новые технологии требуют нового аппарата, новой "математической технологии", а последняя позволяет обнаруживать новые режимы генерации, которые находят практическое применение. Это наглядно показывает статья исследователя - физика из Белоруссии Е.В. Григорьевой и руководителя большой научной школы математиков, исследующих системы с запаздыванием, которая сложилась в Ярославском государственном университете, - С.А. Кащенко.

Одной из основных технологий постиндустриальной эпохи становятся методики прогноза. В последнее десятилетие был осуществлен прорыв в этой области. Во многом он связан с теорией самоорганизованной критичности, позволившей с единой точки зрения взглянуть на сложные системы, в которых возможны редкие катастрофические события. Это касается землетрясений и биржевых крахов, наводнений и инцидентов с хранением ядерного оружия, многих типов техногенных аварий и утечки конфиденциальной информации. Здесь многое было понято, были построены замечательные модели, однако по-прежнему основные методы прогноза, анализа, мониторинга основывались не на этих моделях, а на изучении статистики - "технике работы с незнанием".

Работа специалиста по стратегической стабильности С.Ю. Малкова, в которой на основе методов и представлений нелинейной динамики строятся модели исторических процессов. Когда исполняется желание или оправдывается прогноз, обычно к чувству удовлетворения добавляется некое удивление; в мечтах все казалось несколько иным. О том, что важно и нужно моделировать исторические процессы на основе представлений нелинейной динамики, авторы этих строк писали несколько лет назад. О моделях этногенеза, формациях, параметрах порядка в исторических процессах. Очень приятно видеть, что предложенные нами идеи уже реализованы в работах автора этой статьи и его коллег. И, как часто бывает, жизнь оказывается более яркой и неожиданной, чем мечты.

В последние годы большую известность получила нелинейная демографическая модель С.П. Капицы, которая описывает рост численности населения мира по гиперболическому закону в течение сотен тысяч лет и происходящий на наших глазах демографический переход - постепенную стабилизацию численности населения ряда стран и мира в целом. В статье А.В. Подлазова сделана интересная попытка продвинуться от феноменологии к анализу системных механизмов демографических процессов. Ключом к ним, по мнению автора, являются технологии, позволяющие сберегать жизнь или увеличивать ее продолжительность. Утрата части таких технологий влечет за собой тяжелый демографический кризис, упадок, войны. Хочется надеяться, что XXI век не позволит проверить эту теорию в глобальном масштабе.

Сейчас понятно, что хаос играет очень важную роль в работе мозга. Но какова она? Несколько лет назад один из авторов этой статьи вместе с Е.И. Ижикевичем выдвинули гипотезу, что хаос позволяет избавляться от "ложных образов" и помогает выделять слабые сигналы и стимулы на фоне сильных и говорить "не знаю". Но если это так, то в качестве подтверждения должны выступать данные нейробиологии либо нейронные сети, в которых используется динамический хаос. Большой интересный обзор, посвященный этой тематике, предложил сотрудник Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН А.Б. Потапов, работающий сейчас в Канаде, и его канадский коллега профессор М.К. Али.

В настоящее время представления синергетики, теория динамического хаоса все шире используются в математической психологии. Инициатором таких работ был замечательный ученый, заведующий лабораторией математической психологии В.Ю. Крылов. О развитии этого направления в Московском физико-техническом институте, о приложении этих методов к анализу процессов самоорганизации в глобальных компьютерных сетях рассказывает статья Н.А. Митина.

Один из историков науки как-то заметил, что даже от выдающихся ученых в истории в лучшем случае остается одна работа и одна фраза. Но для этого фраза должна быть услышана современниками, а работа прочитана и понята. Надежду на это синергетикам дает работа математика, философа, методолога науки Р.Г. Баранцева, завершающая сборник. Многие авторы книги увидели в этой работе и глубину взаимосвязи конкретики с фундаментальными проблемами науки в целом, и устремленность в будущее. Хочется, чтобы это почувствовали и читатели.