

## 5. КОНЦЕПЦИЯ САМООРГАНИЗАЦИИ И УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ЭВОЛЮЦИОНИЗМ

Синергетика и становление нового понимания мира. Универсальный (глобальный) эволюционизм.

*Об этих территориях, почти полностью отрезанных от мира и административного влияния, ходили всевозможные, зачастую противоречивые слухи.*

А. Стругацкий, Б. Стругацкий

### 5.1. Синергетика и становление нового понимания мира

Человек давно понял, что первоначально был **хаос**, из которого с течением времени образовались всевозможные упорядоченные структуры, живые существа и, наконец, он сам. Как все это могло совершиться? Ответ на этот вопрос является одним из основных водоразделов между *религией* и *наукой*. Религия утверждает, что решающую роль в возникновении порядка из хаоса играл Бог. Современная наука отводит эту роль случайным процессам; роль Бога играет Его Величество Случай. Процесс возникновения порядка из хаоса – не результат вмешательства свыше, а *результат самоорганизации материи на основе случайного поиска*. О том, что такое может быть, по-видимому, догадывался и А.С. Пушкин, иначе бы он не написал такие удивительные по глубине и красоте строки:

О, сколько нам открытий чудных  
Готовят просвещенья дух  
И опыт, сын ошибок трудных,  
И гений, парадоксов друг,  
И *случай*, бог-изобретатель...

В процессе самоорганизации материи первоначальный хаос элементарных частиц, образовавшихся после Большого взрыва, постепенно организовался сначала в атомные ядра и атомы, затем в вещество звезд и планет. Этот же процесс привел к возникновению жизни на Земле, появлению все более сложных видов живых организмов.

Все существующие системы подразделяют на два принципиально различных вида: **замкнутые** (или изолированные) и **открытые**. Последние отличаются тем, что могут *обмениваться с окру-*

жающей средой веществом или (и) энергией, или (и) информацией. Оказывается, что процессы в изолированных и открытых системах могут развиваться по совершенно разным законам.

Процессы в замкнутых системах, ведущие к установлению *теплового равновесия*, сопровождаются *возрастанием неупорядоченности*. Они идут в направлении от **порядка к хаосу**. С точки зрения молекулярно-кинетической теории в таких процессах *положению равновесия* отвечает *состояние максимального хаоса (неупорядоченности)*. В замкнутой системе имеет место **второй закон термодинамики** – *закон возрастания (неубывания) энтропии*. Иногда его также называют *принципом необратимости*.

**Энтропия** – некоторая числовая характеристика, отражающая *меру хаоса: чем больше энтропия, тем больше хаоса в системе*. Законы термодинамики утверждают, что всякая *изолированная система* (не подверженная внешним воздействиям) стремится к *состоянию термодинамического равновесия*, характеризуемого *максимальной энтропией* или *максимальным хаосом*. С точки зрения второго закона термодинамики считалось, что материи присуща тенденция к разрушению возникающей упорядоченности – возвращению к исходному хаосу. Следовательно, упорядоченное состояние вещества, наблюдаемое во Вселенной, возникло случайно, а жизнь, как самая высокая форма упорядоченности, тем более случайна и даже противоестественна.

Среди множества разнообразных систем, существующих в природе, особый интерес представляют сложные макроскопические неравновесные открытые системы, содержащие упорядоченные структуры. Именно они в конечном счете ответственны за все поразительное разнообразие и богатство форм и структур, которые нас окружают. В отличие от равновесных, *неравновесные системы* являются **неустойчивыми**, т.е. *даже сколь угодно малые изменения какого-либо параметра могут перевести ее в новое состояние*. Эти системы многочисленны и разнообразны: вихри в океане и атмосфере, химические реакции с временной и пространственной периодичностью, лазеры, живые организмы и экосистемы. Оказалось, что в открытых неравновесных системах процессы могут идти *в направлении от хаоса к порядку*, в них порядок рождается из хаоса. Такие процессы называют **самоорганизацией**.

В настоящее время доказано, что в сильно неравновесных усло-

виях может совершаться переход от беспорядка, теплового хаоса к порядку. В открытых системах вдали от термодинамического равновесия могут спонтанно возникать новые типы структур. Такие типы структур, возникающие в процессе самоорганизации, назвали *диссипативными структурами*, так как для их поддержания требуется больше энергии, чем для поддержания более простых систем. Подобные структуры обладают устойчивостью, необходимой для их существования. Образование этих структур происходит не из-за внешнего воздействия, а за счет внутренней перестройки системы, когда система *самонастраивается* или **самоорганизуется** на внешние факторы, *достигая равновесия с условиями внешней среды*. Процессы самоорганизации математически описываются совершенно иначе, чем равновесные процессы, – они описываются *нелинейными уравнениями*.

Процесс самоорганизации, как и динамический хаос, связан с динамикой системы, а не с конкретной природой исследуемого объекта. Потому он имеет универсальный характер и проявляется в физике, химии, биологии, экономике и т.д. Организующим началом при формировании упорядоченных структур является *неустойчивость и нелинейность*. Но здесь они работают по-другому, чем при установлении динамического хаоса. Для образования упорядоченных структур важную роль играют *нелинейный отбор* и *синхронизация* или *координация*, суть которых состоит в следующем. В неравновесной среде за порогом неустойчивости одновременно нарастают самые разнообразные движения или возбуждения. На линейной стадии процесса, когда амплитуды этих возбуждений малы, царит полный хаос. На нелинейной стадии, когда их амплитуды становятся достаточно большими, начинает работать *нелинейная конкуренция*, так как все возбуждения получают энергию из одного источника. Ясно, что выживают лишь те из них, которые лучше приспособлены для этого, или, как говорят, *синхронизованы (скоординированы)* с источником энергии и между собой. В результате в системе возникают *коллективные формы движения*, между которыми существует **конкуренция**, которая и “производит” *отбор* наиболее устойчивых из них.

Таким образом, комбинация взаимной конкуренции и синхронизации образований разной ориентации и масштабов приводит к установлению весьма сложных структур. Причем этот *переход происходит совершенно спонтанно (случайно)*. Изучением та-

ких процессов занимается раздел науки, который называют **синергетикой**.

Слово *синергетика* происходит от греческих слов "вместе" и "действую" и означает совместное, согласованное действие. Этот термин в качестве названия нового научного направления предложен немецким ученым Г. Хакеном. **Синергетикой** называют *область науки, которая занимается изучением эффектов самоорганизации в физических, химических, биологических и других системах. Другими словами, синергетика – это наука о самоорганизации в неравновесных открытых системах различной природы, наука о законах рождения порядка из хаоса, наука о совместном, согласованном действии*. В системах, которые изучает синергетика, наблюдается *согласованное поведение*, в результате чего *возрастает степень ее упорядочения*, т.е. уменьшается энтропия. Синергетика изучает связи между элементами в открытых системах благодаря интенсивному (потокосовому) обмену веществом и энергией с окружающей средой в неравновесных условиях.

Процесс самоорганизации (возникновение структур) происходит не во всякой макроскопической системе. Самоорганизация возможна при следующих условиях: система должна быть *открытой* и *неравновесной*; в ней должна присутствовать *стохастичность*; она должна быть *неустойчивой* относительно слабых возмущений и *нелинейной*. Сильнее всего нелинейность выступает в массовых, кооперативных явлениях, где *согласованно (кооперативно, когерентно)* действует значительная доля участников процесса.

Математической моделью динамической системы служат нелинейные дифференциальные уравнения. Особенность их состоит в том, что они имеют *несколько качественно различных решений*. Так как эти решения определяют эволюцию данной системы, то физический смысл множественности решений состоит в том, что динамическая система оказывается, как говорят, в состоянии *открытого будущего*. Осуществима лишь *одна альтернатива из нескольких*, но какая именно – **решает случай**, т.е. действие ничтожной флуктуации динамической переменной или физического параметра реальной системы. Ничтожной – так как при определенных значениях параметров система утрачивает устойчивость, делаясь чувствительной даже к бесконечно слабому воздействию.

Можно образно сказать, что в данных условиях система находится на *развилке путей в будущее*.

Изменение числа (или устойчивости) решений называется **бифуркацией** (от латинского слова “развилка”), а точка, в которой это происходит, – *точкой бифуркации*. Бифуркацию иногда называют *катастрофой*, а соответствующий раздел математики – *теорией катастроф*. То, что выступает в роли флуктуации (инициатора), чье вмешательство в момент неустойчивости определяет судьбу последующей эволюции, называют *репликатором* (от латинского – “развертывание, создание себе подобной структуры”). Можно сказать: репликатор – это то, что выделяет данный случай из множества других флуктуаций или шумов, превращая его в “Событие”. Что именно, решается в каждом конкретном случае. Например, в генетике репликатором выступает ген, в лазере – квант излучения, испущенный в ходе спонтанного излучения.

Спонтанность образования диссипативных структур и приставка “само-” в слове самоорганизация создают впечатление, что переход от хаоса к порядку происходит сам собой и никакого агента у процесса синхронизации нет. Возможно, поэтому не все исследователи согласны с данным термином. В оправдание этого термина можно сказать, что лидером самоорганизации становится репликатор и происходит репликация (воспроизведение) его индивидуальных характеристик другими участниками процесса формирования диссипативных структур. В итоге именно его характеристики закрепляются в поведении системы. Поэтому его иногда называют еще и “серым кардиналом” самоорганизации.

Изучение свойства объектов исследователи обычно начинают с анализа, т.е. разложения их на отдельные части – подсистемы. Например, физик разлагает кристалл на атомы, биолог – орган на отдельные клетки. Поняв, как “работают” отдельные части, пытаются объяснить свойства всего объекта в целом (синтез). Однако не всегда свойства полной системы возможно объяснить на основе простой суперпозиции свойств отдельных ее частей. Как правило, отдельные подсистемы взаимодействуют друг с другом, иногда взаимодействие даже выглядит *целенаправленным*. При этом у полной системы возникают такие новые свойства, которые качественно отличаются от свойств отдельных подсистем. **Основная задача синергетики** – вскрыть *общие принципы*, по которым отдельные подсистемы формируют макроскопические свойства пол-



Рис. 5.1. Типичный вид "улиц", образующихся в облаках

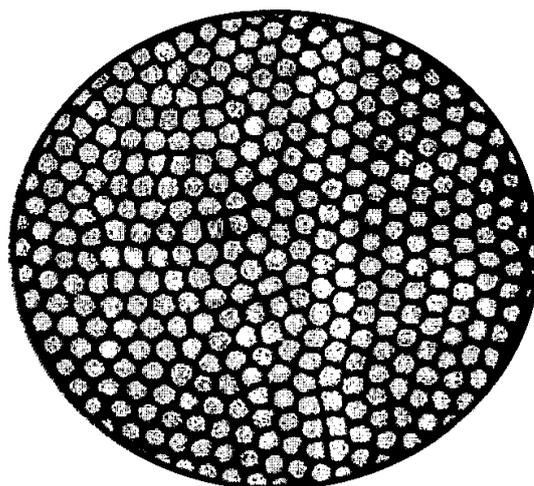


Рис. 5.2. Ячеистая структура жидкости при неустойчивости Бенара

ной системы. Эта программа охватывает широкий круг явлений, так как в качестве подсистем могут выступать атомы, молекулы, клетки, компьютеры и даже человек. Важно, что в открытых системах можно менять потоки энергии и вещества и тем самым управлять образованием диссипативных структур.

Рассмотрим некоторые примеры. **Облачность.** Многие из тех, кто летал на самолете над облаками, могли наблюдать упорядоченную, регулярную структуру облаков в виде регулярных "валов", прямоугольных "улиц", правильных прямоугольных или шестиугольных ячеек и т.п. (см. рис. 5.1). Весь этот геометрический порядок образуется из хаоса молекулярных движений, разнообразных возмущений в воздушной атмосфере и слое водяных паров, вызываемых неравномерностью их нагревания, приводящей к интенсивной конвекции. Классическим примером возникновения структуры являются **ячейки Бенара** – рис. 5.2, открытые Г. Бенаром в 1900 г.

Эффект состоит в том, что при нагревании слоя вязкой жидкости (например, масла) до определенной (критической) температуры в ней возникают упорядоченные структуры из шестиугольных конвекционных ячеек. Здесь движение жидкости организовано более высоко, чем микроскопические движения в состоянии покоя. Чтобы возникла наблюдаемая невооруженным глазом картина течения, огромное количество молекул должно двигаться согласованно (когерентно) на наблюдаемых расстояниях. Размеры ячеек могут достигать десятков миллиметров. Возникающая структура

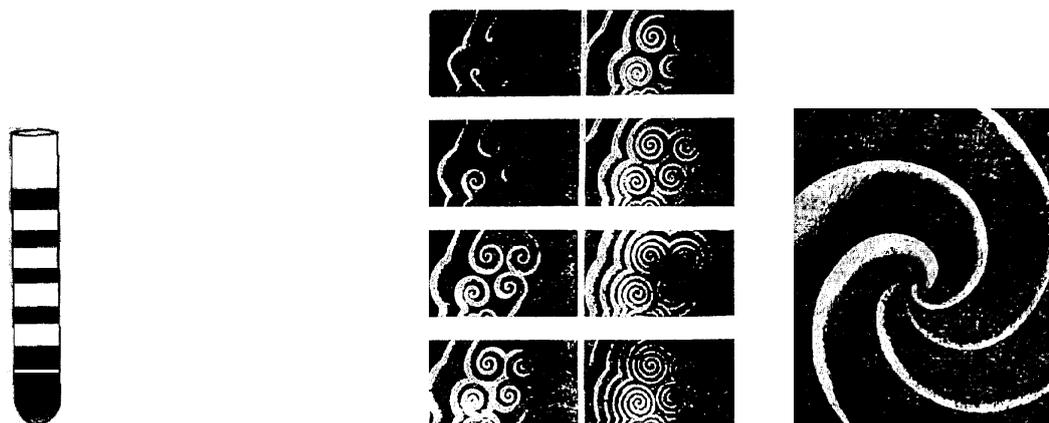


Рис. 5.3. Самопроизвольное появление пространственных структур в реакции Белоусова–Жаботинского

поддерживается за счет подвода тепла. Вблизи равновесия жидкость однородна, движение молекул несогласованно и описывается вероятностными законами. Когда возникают ячейки Бенара, в одной точке пространства молекулы жидкости движутся вверх, в другой – вниз, как по команде, но при этом нет никакой упорядочивающей их силы. Появление этих структур нельзя объяснить взаимодействием молекул между собой, так как расстояния, на которых они взаимодействуют, составляют примерно  $10^{-8}$  см, а ячейки в поперечнике могут быть до 1 см. Отметим также, что здесь происходит еще и нарушение симметрии, поскольку соседние вихри вращаются в противоположных направлениях: один по часовой, другой против часовой стрелки. В однородном состоянии разные области ничем не отличаются друг от друга. Этот пример демонстрирует то, что *неравновесность может быть источником порядка*.

В химии известны, так называемые, **химические часы**. При определенных условиях некоторые химические реакции сопровождаются периодическими изменениями концентраций реагентов: с течением времени один реагент сменяется другим, затем вновь восстанавливается и снова исчезает. Получается *периодический химический процесс* в пространстве и времени, который называют реакцией **Белоусова–Жаботинского**. При этом образуются структуры, подобные, например, показанным на рис. 5.3.

Очень похожая картина отмечается и в живой природе. На рис. 5.4 показаны концентрические и спиральные волны агрегирующих популяций живых клеток. Когда клетки начинают голодать, они периодически выделяют специальное вещество (подают сиг-

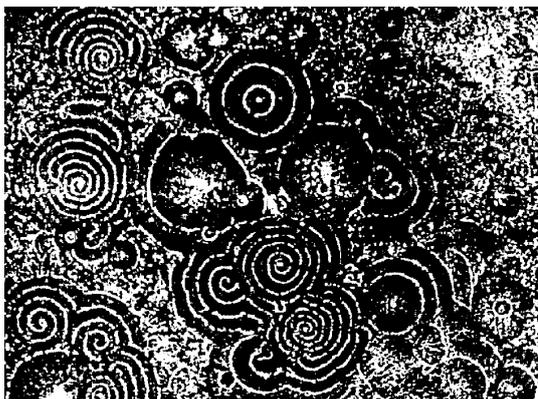


Рис. 5.4. Концентрические и спиральные волны агрегирующих популяций клеток *Dictyostelium discoideum* на поверхности агара. Движущиеся к центру амёбы выглядят как блестящие полоски, а неподвижные – как темные полоски

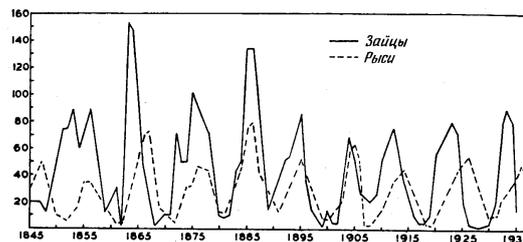


Рис. 5.5. Изменение численности рысей и зайцев-беляков

нал). Другие клетки, приняв его, начинают двигаться в область повышенной концентрации этого вещества. В результате возникает распределение плотности клеток, напоминающих волновые картины в реакции Белоусова–Жаботинского. Это позволяет всему сообществу клеток контролировать большую территорию и формировать многоклеточное тело (до  $10^5$  клеток). Таким образом, в ответ системы на нехватку пищи происходит переход к новому уровню организации, которая характеризуется согласованным поведением большого числа клеток, что позволяет организму гибко реагировать на неблагоприятные изменения среды.

Известно, что численность видов также подвержена временным колебаниям. Например, численность популяций зайцев и рысей зависит от их соотношения. Много рысей – мало зайцев, т.е. увеличение численности хищников приводит к уменьшению численности жертв-зайцев, и наоборот (рис. 5.5). Не вызывает сомнений, что динамика популяций может быть объяснена на основе синергетики.

**Эволюцию** рассматривают как образование все новых макроскопических структур – новых видов. Модели эволюции биомолекул основаны на математической формулировке принципа Дарвина – выживание наиболее приспособленного вида. Показано, что такой механизм обуславливает отбор, который наряду с мутациями может приводить к эволюционному процессу.

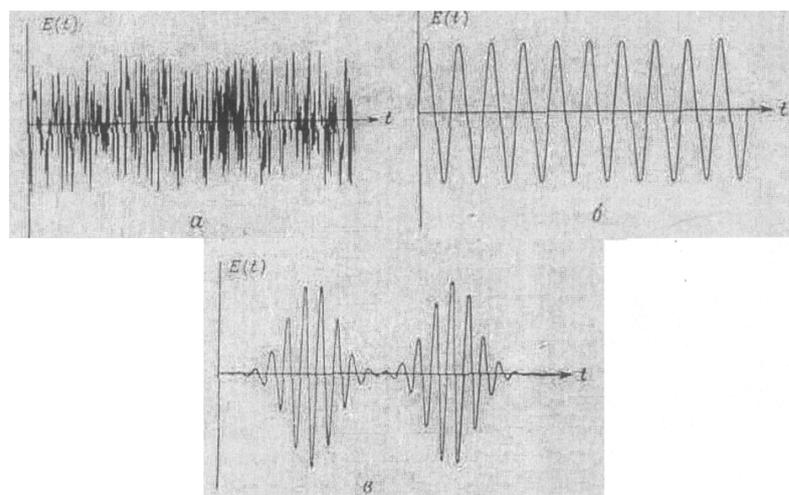


Рис. 5.6. *а* – зависимость напряженности поля  $E(t)$  от времени  $t$  для излучения, испущенного лампой; *б* – зависимость напряженности поля  $E(t)$  от времени  $t$  для излучения, испущенного лазером; *в* – зависимость напряженности поля  $E(t)$  от времени  $t$  для ультракоротких импульсов лазерного излучения

Типичным объектом синергетики является **лазер**. Это сильно неравновесная система. Переход от излучения лампы к излучению лазера представляет яркий пример самоорганизации: до порога возникновения лазерной генерации все атомы испускают излучение независимо один от другого (случайно, некоррелированно). Их излучение можно наглядно представить как случайный набор отдельных волновых цугов (“кусков”) (рис.5.6*а*). Выше некоторого порога (порог генерации) все атомы начинают испускать излучение одинаково или коррелированно (рис.5.6*б*). В результате возникает волновой цуг практически бесконечной длины. Переход лазера в режим генерации соответствует образованию ячеек Бена-ра в рассмотренном выше примере, т.е. при генерации в атомной системе происходит ее самоорганизация. При генерации ультракоротких импульсов ( $10^{-12}$  с) атомы также испускают излучение скоррелированно, как показано на рис.5.6*в*.

Макроскопические изменения, происходящие в **экономике**, часто носят драматический характер. Примером может являться переориентация капиталовложений с увеличения производства на его модернизацию. Это может привести к новому состоянию экономики – переходу от полной занятости к неполной со всеми вытекающими последствиями. Колебания между этими состояниями наблюдались и могут быть объяснены методами синергетики. Другим примером развития макроскопических систем может служить

эволюция общества от аграрного к индустриальному.

Резкие изменения в макроскопических масштабах наблюдаются в **экологии** и родственных ей областях. Например, в горных районах изменение климата с высотой над уровнем моря может быть причиной существования различных растительных зон. Аналогичная ситуация и в отношении различных климатических поясов на Земле. Из других хорошо известных примеров подобного рода можно назвать загрязнение окружающей среды: увеличение зараженности на несколько процентов может привести к вымиранию целой популяции, например, к гибели рыбы в озере.

Исследования **социологов** свидетельствуют о том, что формирование "общественного мнения" – коллективный эффект, т.е. мнение одних членов группы влияет на мнение других индивидуумов. Поскольку в процессе формирования общественного мнения индивидуумы оказывают друг на друга взаимное влияние, то это явление может быть проанализировано методами синергетики. В частности, при некоторых внешних условиях (например, состояние экономики, высокие налоги) общественное мнение может резко измениться, что особенно видно при возникновении различных кризисных ситуаций.

Что общего между всеми приведенными примерами? Во всех случаях рассматриваются системы, состоящие из большого числа подсистем. При изменении определенных условий (управляющих параметров), даже если эти изменения ничем, казалось бы, не выделены, в системе образуются *качественно новые структуры в макроскопическом масштабе*, т.е. система способна переходить из однородного состояния покоя в неоднородное, но хорошо упорядоченное состояние или даже в одно из нескольких возможных состояний. Такие системы могут находиться в различных устойчивых состояниях. В упорядоченном состоянии могут происходить колебания различных типов с одной или несколькими частотами, система может совершать случайные движения. Могут возникать пространственные структуры, например, ячейки типа пчелиных сот, концентрические волны или спирали. Эти структуры могут поддерживаться в динамике за счет непрерывного потока энергии (или вещества) через систему. В других случаях они сначала возникают в динамике, а затем как бы "затвердевают" (например, кристаллы, снежинки). В абстрактном плане также можно говорить, что и в социальных, культурных или научных "системах" возни-

кают структуры – идеи, понятия, парадигмы. Во всех случаях это процессы самоорганизации, которые приводят к возникновению новых структур в макроскопических масштабах.

Общая черта таких переходов от простого поведения к сложному есть *упорядоченность и согласованность* в системе. Подчеркнем, что вдали от равновесия система может приспосабливаться к своему окружению несколькими способами, т.е. возможно несколько различных исходов. И лишь **случай** решает, какое из них будет реализовано. Тот факт, что из многих вариантов выбирается лишь один, придает системе *историческую направленность*, своего рода "память" о прошлом событии, которое произошло в критический момент и оказало существенное влияние на эволюцию системы. Это называют *бифуркацией*. В точке бифуркации поведение системы разветвляется и становится неоднозначным.

Возникновение порядка из хаоса в настоящее время исследуется во многих разделах науки, в том числе в экологии, социологии и экономике. Полученный естественным путем вывод, что **самоорганизация есть результат собственного, внутренне необходимого изменения системы**, распространяется и на **общественные процессы**. Фактически это означает переход от стихийной эволюционно-биологической организации к социально организованному уровню материальных структур. За последние 10–20 лет показано, что поведение многочисленных систем подчиняется общим законам синергетики.

Таким образом, синергетика установила, что *процессы разрушения и созидания, деградаци и эволюции во Вселенной равноправны*. Материи присуща созидательная тенденция, она способна осуществлять работу против термодинамического равновесия, **самоорганизовываться, самоусложняться**. Процесс самоорганизации имеет *пороговый характер*, а процессы нарастания сложности и упорядочения имеют *единый алгоритм*, независимо от природы систем, в которых они осуществляются. Возникновение упорядоченных сложных систем обусловлено *рождением коллективных типов поведения под воздействием флуктуаций, их конкуренцией и отбором того типа поведения, который оказывается способным выжить в условиях конкуренции*.

С синергетической точки зрения развитие неравновесных систем протекает путем нарастающей сложности и упорядоченности. При этом в развитии системы можно выделить две фазы: 1)

период плавного эволюционного развития с хорошо предсказуемыми изменениями (линейная фаза), который, как правило, приводит к определенному неустойчивому критическому состоянию; 2) выход из критического состояния в новое устойчивое состояние с большей степенью сложности и упорядоченности происходит скачком (нелинейная фаза). Такой переход имеет *неоднозначный* характер, поскольку невозможно предсказать, какая ветвь развития будет выбрана – *все решает случай*. Когда же выбор сделан и система скачком переходит в новое устойчивое состояние, – назад возврата нет. Поэтому развитие таких систем имеет **принципиально непредсказуемый и необратимый характер**. Следовательно, **необратимость, вероятность и случайность** – объективные свойства и на макроскопическом уровне, а не только на микроуровне, а хаос не только разрушителен, но и созидателен, конструктивен, так как развитие осуществляется через неустойчивость и хаотичность.

Через какие фундаментальные бифуркации прошел наш земной мир? Их несколько. По мнению Н. Моисеева, первой из них было *образование биосферы*. Другая фундаментальная бифуркация прошла в два этапа. Около трех миллионов лет тому назад началась *палеолитическая революция*, вызванная глобальным похолоданием. *Неолитическая революция* была реакцией на *глобальный экологический кризис*, спровоцированный ускоренным истреблением диких животных, служивших пищей нашим предкам. Благодаря созданию таких культурных образцов, как земледелие, а затем скотоводство, человечество выжило. Однако с тех пор сложилась традиция **переделывать природу под “человека”**. Из-за нее сегодня человечество стоит на грани новой фундаментальной бифуркации – *климато-экологической*. Она возможна через 30–40 лет, если **человечество не изменит своей технологии и своего отношения к Природе**. Не секрет, что сейчас примерно каждый 500-й новорожденный имеет явные отклонения от нормы. Это грозит необратимым ухудшением генофонда к началу XXII в. и дегенерацией человечества.

В связи с этим Н. Моисеев провозглашает **синергетический императив**, который можно сформулировать так: *условия существования новой цивилизации, возникающей в обстановке переживаемой нами глобальной бифуркации, должны отвечать сути, направлениям и темпам процессов самоорганизации и эволюции биосферы Земли*. Поэтому модернизация образования,

о которой в последние годы много говорят, также должна предполагать развитие обучаемых в духе синергетического императива.

Новые идеи, как правило, вначале отвергаются научным сообществом, но со временем, если они выдерживают проверку на истинность, становятся общепринятыми или даже входят в моду. Именно к такому этапу подошла синергетика. Прежде всего, она ломает многие из прежних распространенных установок и предубеждений. Она показала, что **сложноорганизованным самоорганизующимся системам, в т.ч. и социоприродным, нельзя навязывать пути их развития.** Управление такими системами следует рассматривать как *способствование их собственным тенденциям развития* с учетом присущих ей элементов саморегуляции. При этом важно понять **законы совместной жизни природы и человека, их коэволюцию.**

Синергетика свидетельствует о том, что для сложных систем, как правило, существует несколько *альтернативных путей развития.* Неединственность эволюционного пути, отсутствие жесткой предопределенности являются основой оптимистического взгляда на дальнейшее развитие мира, оставляют надежды на возможность выбора путей развития, которые устраивали бы человека и вместе с тем не стали бы разрушительными для природы. Она показывает, что механизмы слепого жесткого отбора – механизмы чисто рыночного типа, не единственно возможные в эволюции сложных, в том числе и социально-экономических, систем. Существует путь многократного сокращения временных затрат и материальных усилий, путь резонансного возбуждения желаемых и реализуемых в данной среде структур. По сути дела, синергетика приводит к *новым принципам мировидения* и даже новой идеологии. Интерес к синергетике обусловлен тем, что она формирует *целостный, полидисциплинарный подход* к исследованию явлений, которые существенны в *космических, биологических, социоприродных, социокультурных и психоментальных процессах.* Становится общепринятым, что **законы эволюции живого и неживого одни и те же.** Фундаментальность явлений, исследуемых синергетикой, ее идеи, образы и методы привлекают как представителей естественных наук, так и гуманитарных. Она позволяет сблизить науку с искусством, с этическими учениями. В конце XX в. приходит осознание того, что *наука и искусство,* которые в течение почти трех столетий считались противополож-

ными полюсами, *взаимосвязаны*. И это имеет большее значение скорее для науки, чем для искусства.

Хотя синергетика раскрывает причины глобальной нестабильности развития мира, особенно в современной ситуации, синергетическое мировоззрение проникнуто оптимизмом, поскольку синергетика стремится понять принципы эволюции и коэволюции сложных систем, выяснить общие механизмы катастроф в таких системах. Она стремится овладеть средствами нелинейного управления системой, находящейся в состоянии неустойчивости. Именно тогда оказывается, что возможно слабым воздействием “подтолкнуть” систему на один из ее собственных, хотя и скрытых, но благоприятных для человека путей развития, а значит, обеспечить самоуправляемое развитие. Таким образом, синергетика раскрывает конструктивную роль хаотического процесса в появлении нового и тем самым помогает человеку преодолеть древний панический ужас перед хаосом.

Синергетика дает новый образ мира природы, человека и общества как открытых систем, развивающихся по нелинейным законам, раскрывает двойственную природу случайного, созидающие и деструктивные начала. В ее основе лежит утверждение фундаментальности вероятностных закономерностей в развитии мира и всех его подсистем. При этом *случайность и неопределенность выступают как важнейшие свойства всего мироздания*. Она подводит к **универсальному видению мира**, дает единое понимание процессов эволюции различных систем, природы коэволюционных взаимодействий и интеграции состояний на пути развития, полное представление о том, как из хаоса возникает упорядоченная сложность. Тем самым она позволяет построить *картину мира, в которой все – жизнь неживой и живой природы, жизнь и творчество человека, жизнь общества – связано и подчинено единым фундаментальным законам*. Она также приводит к более глубокому осознанию взаимосвязи всего сущего – природы, человека и его культуры, необходимости поддержания их синхронного развития; к пониманию нравственного и экологического императива как нормы жизни; к становлению нового отношения к миру природы и миру людей.

По мнению некоторых ученых, синергетика, возможно, знаменует начало новой научной революции, поскольку она не просто вводит новую систему понятий, но и меняет стратегию научного

познания, способствует выработке новой научной картины мира и ведет к новой интерпретации принципов естествознания. Если традиционная наука изучала замкнутые системы, обращая особое внимание на устойчивость, порядок и однородность, то *синергетический подход направлен на открытые системы, где главную роль играют неупорядоченность, нелинейность, неустойчивость, неравновесность*. И. Пригожин считает, что синергетический взгляд на мир ведет к революционным изменениям в нашем понимании случайности и необходимости, необратимости природных процессов, позволяет дать принципиально новое толкование энтропии и радикально меняет наше представление о времени и в конечном счете наше **мировоззрение**.

Думается, что синергетика позволит также решить в определенной мере и проблему широкого кругозора, которая становится все острее и острее, потому что современные науки раздроблены на многочисленные разделы и специализации, где каждый говорит на своем языке и часто не понимает другого. Проблема широкого кругозора – это проблема реализации всех специальностей, создание обстановки взаимосвязи и взаимопроникновения наук и формирования общего понимания мира. Несомненно, что изучение синергетики ведет к расширению общего кругозора, столь необходимого в современном мире.

## **5.2. Универсальный (глобальный) эволюционизм**

Одной из центральных идей современной науки является **идея развития**, или **идея эволюции**. В простейших формах она начала проникать в естествознание в XVIII в. Проникновение идеи развития в биологию, геологию, социологию, гуманитарные науки проходило независимо в каждой из этих областей. Как это ни странно, но особенно трудно эта идея пробивала себе дорогу в физико-химических науках, где практически до середины XX в. исследовались в основном замкнутые обратимые системы. Лишь к концу прошлого века естествознание нашло теоретические и методологические средства для создания *единой модели эволюции, выявления общих законов природы, связывающих в единое целое происхождение Вселенной, возникновения солнечной системы и планеты Земля, возникновения жизни, человека и общества*. Такая концепция получила название **универсального** или **глобального эволюционизма**. Иногда это называют *пост-*

*неклассическим или эволюционно-синергетическим мышлением*

В этой модели Вселенная предстает перед нами как развивающееся в пространстве и времени **природное целое**, а вся ее история от Большого взрыва до возникновения человечества рассматривается как **единый процесс**, в котором космический, химический, биологический и социальный типы эволюции связаны между собой. Это значит, что Вселенная, Универсум претерпевают непрерывные изменения, и мы наблюдаем их непрекращающуюся эволюцию. Все это происходит в процессе **самоорганизации**. К числу таких процессов относится и становление Разума, который тоже возник в результате эволюции Вселенной. Следовательно, можно сказать, что **все существующее есть результат эволюции**, которая имеет **всеобщий характер**.

Одним из важнейших выводов концепции универсального эволюционизма является мысль о **направленности развития мира как целого на повышение своей структурной организации**. Вся история Вселенной представляет **единый процесс самоорганизации и развития материи**. В рамках данной концепции важную роль играет **антропный принцип**, постулирующий тот факт, что возникновение человечества стало возможным в силу того, что *свойства Вселенной именно такие, какими они являются*. В противном случае Вселенную некому было бы познавать. *Антропный принцип указывает на глубокое единство закономерностей исторической эволюции Вселенной и предпосылок возникновения и развития органического мира вплоть до антропосоциогенеза*. Согласно этому принципу существует *некоторый тип универсальных системных связей, которые определяют целостный характер существования и развития нашего мира* как проявление бесконечного многообразия материальной природы.

Идея универсального эволюционизма, с одной стороны, выступает как некий *регулятивный принцип*, который дает представление о мире как о единой целостности и позволяет мыслить общие законы бытия в их единстве. С другой – он ориентирует современное естествознание на поиск конкретных закономерностей универсальной эволюции материи на всех ее структурных уровнях и на всех этапах самоорганизации.

В основе универсального эволюционизма лежат *эмпирические обобщения*, которые, по терминологии В. Вернадского, являются утверждениями, не противоречащими опыту и вытекающими из него. Сформулируем некоторые из них (согласно Н. Моисееву).

1. *Вселенная представляет собой единую саморазвивающуюся систему*, т.е. все ее элементы так или иначе связаны между собой. **Человек также является неотъемлемой частью этой системы.** Н. Моисеев называет это постулатом системности или гипотезой о суперсистеме.

2. Все процессы во Вселенной протекают под действием случайных факторов при известной мере неопределенности, т.е. *случайность и неопределенность* в нашем мире на всех структурных уровнях **принципиальна**.

3. *Во Вселенной настоящее и будущее зависят* (но не определяются) *от прошлого*. Образно можно сказать, что всюду властвует *наследственность*. Это значит, что при анализе многих явлений необходимо учитывать *память о прошлом*. В частности, *жизнь на Земле описывается процессами с памятью*, которые называют *немарковскими процессами*. Однако эта область находится еще в начальной стадии своего развития.

Практически во всех существующих в настоящее время теориях имеется единая основа – на математическом языке все они описываются *марковскими процессами – процессами без последствий (без памяти)*. Марковский процесс есть случайный процесс, для которого при известном состоянии системы в настоящий момент времени ее дальнейшая эволюция не зависит от ее состояния в прошлом, или, другими словами, будущее и прошлое при данном настоящем не зависят друг от друга. Это свойство, определяющее процесс, называют марковским (по имени сформулировавшего его известного русского математика А. Маркова). Такие процессы широко используются при описании явлений окружающего нас мира.

В конце XX в. возникло понимание, что в биологических, экономических и социальных явлениях *нельзя пренебрегать предысторией*. Здесь роль памяти чрезвычайно велика, и она может непосредственно влиять на выбор пути развития. *Марковские процессы локальны во времени*, т.е., зная состояние системы в какой-либо момент времени  $t_0$ , можно определить вероятностную картину поведения системы в будущем, причем она не изменяется от дополнительных сведений о событиях при  $t < t_0$ . *Немарковские процессы* учитывают эти добавочные сведения (память о прошлом) и поэтому по своей природе являются *нелокальными во времени*. Можно сказать, что немарковская система (человек, общество)

живет одновременно в прошлом, настоящем и в будущем. Например, область нелокальности для общества составляет примерно 40 лет назад (в прошлое) и 40 лет вперед (в будущее) – срок активной жизни поколения. Вне этих пределов находится историческое прошлое и непредсказуемое будущее.

Теория немарковских процессов позволяет, в принципе, создать математические модели ряда экономических и социальных явлений; описывать различные ритмы в биологических, экономических и социальных процессах.

4. В мире действуют **принципы отбора**, которые утверждают, что все происходящее в природе не является абсолютным произволом. Другими словами, не все мыслимое реализуется в природе. Они также ограничивают вмешательство человека в Природу, поэтому их еще называют *принципами запрета*. В узком смысле под принципами отбора понимают просто законы природы (подробно они рассмотрены в разделе 2). Законы сохранения выполняют функции запрета.

5. Принципы отбора допускают существование *бифуркационных состояний*, т.е. таких состояний, из которых, даже при отсутствии каких-либо внешних воздействий, возможен переход объекта в целое множество новых состояний. В какое из них перейдет система, зависит от тех случайных факторов, которые будут действовать в момент перехода. Такие переходы **не предсказуемы** принципиально.

Приведенные эмпирические обобщения справедливы как для процессов, протекающих в неживой природе, так в живом веществе и обществе. Поэтому они могут составить основу некоторого универсального языка, пригодного для описания любых процессов, протекающих на всех уровнях организации материи. Они также позволяют делать заключения фундаментального характера, являющиеся их следствием. При этом важно понимать, что одни и те же опытные факты могут приводить исследователей к разным утверждениям, потому что и здесь существует неопределенность. А значит, и *картина мира*, рисуемая исследователем, – **не единственная**. Это вытекает из первого постулата, ибо человек также является частью единой системы, для которой справедливы все ее основные свойства, в т.ч. и присутствие неопределенности.

Рассмотрим некоторые следствия из приведенных постулатов. Гипотеза суперсистемы отвергает предположения о существова-

нии неких параллельных или ортогональных миров, которые не воспринимаются непосредственно нашими средствами познания и не взаимодействуют с нашей Вселенной.

Из факта, что мир стохастичен и в нем действуют механизмы бифуркационного типа, следует *необратимость эволюции*. Доказано, что вероятность повторения в эволюционном развитии Вселенной какого-либо из ее прошлых состояний равна нулю. Этот вывод имеет смысл строгой теоремы. Одновременно оно эквивалентно утверждению о *необратимости времени*.

Еще одно важное следствие: *случайность и бифуркации приводят в процессе эволюции к непрерывному росту разнообразия и сложности организационных форм материального мира*. Этот вывод также имеет характер теоремы. В данном утверждении заложен глубокий познавательный смысл: *процесс самоорганизации Вселенной имеет направленный характер – идет непрерывный рост разнообразия и усложнения как всей Вселенной, так и отдельных ее частей*. Кажется, что все это является следствием заложенных в ней возможностей, но детали самого процесса непредсказуемы. Однако факт направленности эволюции и общественного развития нельзя подменять представлением о его закономерности – это разные вещи. При общей направленности процесса развития, которая характеризуется ростом разнообразия всех общественных отношений и другими характеристиками состояния общества, говорить о какой-либо закономерности нельзя, а тем более делать какие-либо социальные экстраполяции. Можно говорить лишь о *тенденциях*, об ожидаемых изменениях организационных структур.

В процессе эволюции непрерывно происходит разрушение существующих структур, дающих материал для возникновения новых. Поэтому смысл эволюции состоит не столько в совершенствовании отдельных организационных структур, их приспособлении к изменяющимся внешним условиям, сколько в замещении менее стабильных более стабильными в данной конкретной обстановке.

Особую роль в схеме универсального эволюционизма играет явление суперсистемы в новые системы с новой структурой связи. В результате у системы возникают новые свойства, отсутствующие у подсистем. Кооперативность наблюдается уже на уровне неживой природы (например, когерентность излучения, резонансы и др). В живом мире мы видим невероятное разнообразие различных форм кооперативного движения. В развитии живого вещества

оно становится определяющим, наряду с внутривидовой борьбой и другими факторами, которые составляют содержание эволюции живого мира. Даже простейшие многоклеточные существа являются результатом действия кооперативных механизмов, приводящих к новой целостности. В обществе кооперативность занимает еще более важное место, выступая одной из основных составляющих человеческих отношений. **По мере развития цивилизации кооперативность будет играть все большую роль в судьбах человечества.**

Направленность мирового эволюционного процесса развития – не результат какого-либо целеполагания, а следствие тех эмпирических обобщений, которые определяют основные особенности самоорганизации. При этом происходит *ускорение процессов развития и уменьшение степени стабильности систем по мере роста их сложности*. Обратим внимание на то, что *стабильность и скорость эволюции* в определенном смысле противоречат друг другу. Это две противоречивые тенденции, но их можно примирить фактором *направляемого развития*, который предполагает, что наши воздействия способны лишь обеспечить желаемые тенденции или избежать тех или иных подводных камней, способных увести в сторону поток развития событий.

Тенденция уменьшения стабильности при усложнении материальных структур имеет прямое отношение к истории развития цивилизации. Именно поэтому в настоящее время зависимость человека от природных условий сильно возросла. В условиях резкого усложнения нашей цивилизации и роста ее могущества дальнейшее существование на Земле человека требует **тонкого согласования антропогенных нагрузок на биосферу с теми процессами, которые в ней происходят**. И вот здесь стабилизирующим фактором может быть **наука**, которая дает обществу не только представления об опасности, но и может помочь найти пути их преодоления, т.е. возникает своеобразная управляемость развития.

В этом контексте возникла гипотеза о том, что в процессе естественной эволюции Вселенная обретает с помощью человека способность не только познавать саму себя, но и направлять свое развитие так, чтобы компенсировать или ослабить возможные дестабилизирующие факторы. Тем самым у человечества появляется определенный шанс сохранить себя в биосфере, во Вселенной. Но способны ли мы им воспользоваться? Это действительно огромный

вопрос, но то, как мы сейчас обращаемся с природой, не позволяет нам ответить на него утвердительно.

**Основные понятия и термины, которые необходимо знать:**

бифуркация, кооперативность, нелинейность, немарковский процесс, неравновесность, неустойчивость, открытая система, самоорганизация, синергетика, система, стохастичность, эволюция, энтропия.

**Контрольные вопросы**

1. Сформулируйте основные идеи синергетики.
2. Что нового приносит синергетика в мировоззрение?
3. В чем состояло противоречие между эволюционной теорией Дарвина и классической термодинамикой?
4. Почему концепция самоорганизации является парадигмой исследования обширного класса сложноорганизованных систем?
5. Какие структуры называют диссипативными? Сформулируйте условия, необходимые для их возникновения.
6. В чем состоит значение синергетики для современного естественно-научного познания?
7. В чем суть концепции универсального эволюционизма?
8. Сформулируйте эмпирические обобщения, лежащие в основе принципа универсального эволюционизма. Приведите примеры следствий из них.

**Литература:** [15, 24, 27, 52, 53, 55, 56, 57, 58, 59].

**Дополнительная литература:** [1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 17, 18, 54].