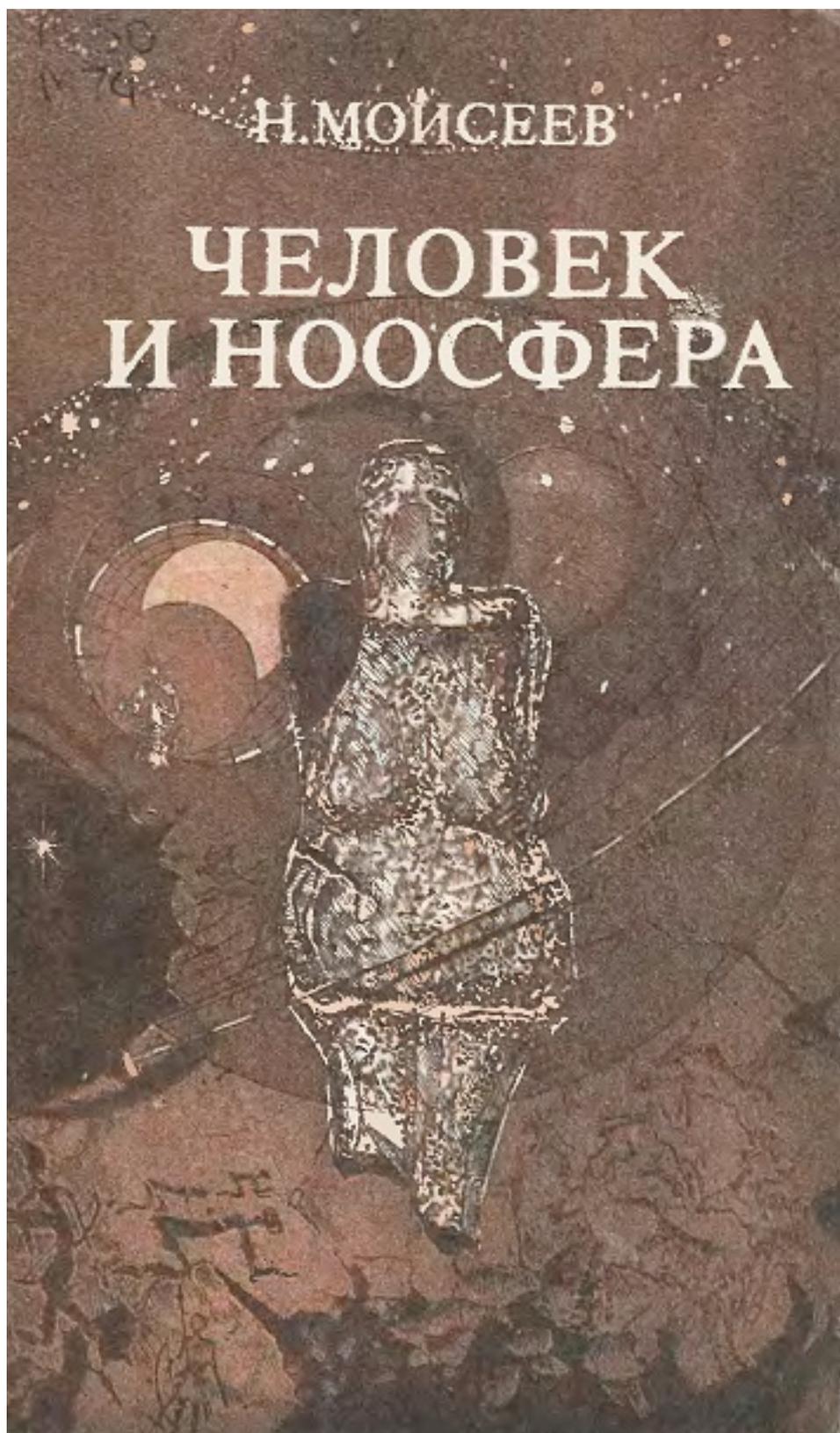


1974  
Н. МОЙСЕЕВ

# ЧЕЛОВЕК И НООСФЕРА



Никита Моисеев  
**Человек и ноосфера**

Журнал «Экология и жизнь»

1990

ББК 60.55

**Моисеев Н. Н.**

Человек и ноосфера / Н. Н. Моисеев — Журнал «Экология и жизнь», 1990

ISBN 5-235-01070-1

В книге исследуется острая проблема совместной эволюции (коэволюции) Человека и Природы, условий выживания людей и окружающей среды, перспективы развития ноосферы – биосферы и Разума.

ББК 60.55

ISBN 5-235-01070-1

© Моисеев Н. Н., 1990  
© Журнал «Экология и жизнь», 1990

## Содержание

Двадцатый – век предупреждения	6
Часть I. От стратегии Природы к стратегии Разума	8
Глава I. Эскиз мирового эволюционного процесса	11
Оправдание единства	11
Учение о ноосфере	15
О единой картине мира	18
Глава II. Механизмы эволюции	25
Основы единого языка	26
Некоторые общие свойства механизмов эволюции	30
Редукционизм и механизмы «сборки»	34
Механизм обратной связи и понятие «организация»	39
Исследование процессов развития	43
Замечания о принципах минимума диссипации	49
Глава III. Память, ее генезис в преддверии интеллекта	52
Возникновение генетической памяти и обратных связей	52
Рефлексное управление и нервная система	58
Конец ознакомительного фрагмента.	60

# **Н. Н. Моисеев**

## **Человек и ноосфера**

© Издательство «Молодая гвардия», 1990 г.

\* \* \*

## Двадцатый – век предупреждения

*Двадцатый век... еще везоомней,  
Еще страшнее жизни мгла  
(Еще чернее и огромней  
Тень Люциферова крыла).*

*А. Блок*

Двадцатый век, вероятно, войдет в историю как «век предупреждения». Тысячелетиями накапливавшийся потенциал знания, людской воли, форм социальных структур приобрел совершенно новые возможности уже в период первой промышленной революции. Получив в свое распоряжение огромные запасы энергии ископаемых углеводородов, человек начал использовать их с максимально возможной эффективностью. И жизнь его начала изменяться. Сначала, может быть, незаметно, но постепенно скорость перемен все возрастала, и XIX век тому свидетель. Правда, начало и конец его не очень, по нынешним меркам, отличались друг от друга. Однако уже появились пароходы и железные дороги, хотя улицы еще заполнялись конными экипажами, кавалерия гарцевала на парадах, а пышные одежды венценосцев и генеральские эполеты как бы символизировали незыблемость веками освященных стандартов мысли и идеалов. И только самые прозорливые видели, что в наступающем столетии старому миропорядку не будет места.

XX век оказался веком коренной ломки наших обычных представлений, приведших к фантастическому взлету техники, а также росту производительных сил. Радио, телевидение, вычислительная техника, выход в космос, приручение ядерной энергии, генная инженерия, пластиковые материалы – все эти технические новшества неузнаваемо изменили нашу жизнь, предоставили такие блага, о которых и не могли мечтать наши предки. Образ жизни, наши мысли и само понимание мира за это столетие неузнаваемо изменились. Но вместе с тем новые возможности поставили нас перед лицом трудностей, о которых еще несколько десятилетий назад никто и не предполагал. И главная из них та, что человечество обрело возможность самоуничтожения!

Оно может произойти в одночасье, если разразится ядерная война, а может превратиться в процесс медленной и мучительной деградации, если, избежав ядерной катастрофы, люди не научатся жить в гармонии с Природой и будут продолжать загрязнять окружающую среду, сокращать генофонд, уничтожать тропические леса и т. д.

Последняя четверть нынешнего века – это длинная серия предупреждений. Ученые показали, что следствием ядерной войны будут «ядерная ночь» и «ядерная зима». Трагедия Чернобыля зримо продемонстрировала, что нас ждет, если атомные станции подвергнутся разрушениям. А это может случиться из-за недобросовестности персонала, технических ошибок, в результате действия террористов и еще по многим, многим причинам. А эти станции уже сейчас покрывают всю наиболее промышленно развитую часть планеты.

Но только ли атом грозит нам сегодня? Кислые дожди, уничтожившие рыбу в озерах Скандинавии, загрязнения Ладоги, Байкала, Великих американских озер, превращение Рейна в сточную канаву – разве такие факты не предупреждения о том, что мы находимся на пороге «запретной черты»? И это уже понимают многие. В отличие от жителей развитых стран конца прошлого века мы знаем, что век грядущий захлестнет нас потоком новых труднейших проблем, к которым нам надо готовиться сегодня!

Вот почему о дне наступающем, о том, что нас ждет в ближайшие десятилетия, размышляют сегодня не только футурологи, но и ученые самых разных профессий, и просто интеллигентные люди.

Размышления о дне наступающем становятся насущной потребностью общества. Они должны содействовать установлению интеллектуального и нравственного климата, необходимого для изменения того русла нашей реки жизни, которое нас может подвести к катастрофе, если мы не научимся по-новому мыслить, если не произойдет общепланетарная Перестройка.

Человеку предстоит разумно использовать те потенциальные возможности, которые дала ему Природа. А для этого ему понадобится определенная общепланетарная стратегия. Процесс ее формирования будет трудным и длительным и потребует непредвзятого анализа самых разных сторон нашего общественного и технического развития, взаимоотношений с Природой, составной частью которой мы все являемся.

Обсуждение этих проблем должно быть избавлено от цепей догм и стандартов. Мне кажется очень важным, чтобы в них участвовали специалисты самых разных профессий. Ведь у каждого из них свой собственный ракурс видения происходящего. И это послужит известной гарантией того, что анализ будет достаточно объективным и всесторонним.

Предлагаемая книга написана человеком, первоначальное образование которого математика и физика. Последние двадцать лет мне пришлось заниматься изучением больших компьютерных моделей биосферы. Весь этот опыт наложил, конечно, определенный отпечаток на характер моего мышления и способствовал созданию специфического видения предмета. Вместе с тем он сформировал и некоторую научную позицию, лишенную обществоведческих стереотипов, нередко мешающих гуманитариям увидеть своеобразие современного этапа социального развития. Эту позицию я бы назвал «физикалистской», и читатель, осилив эту книгу, наверно, согласится с этим выводом.

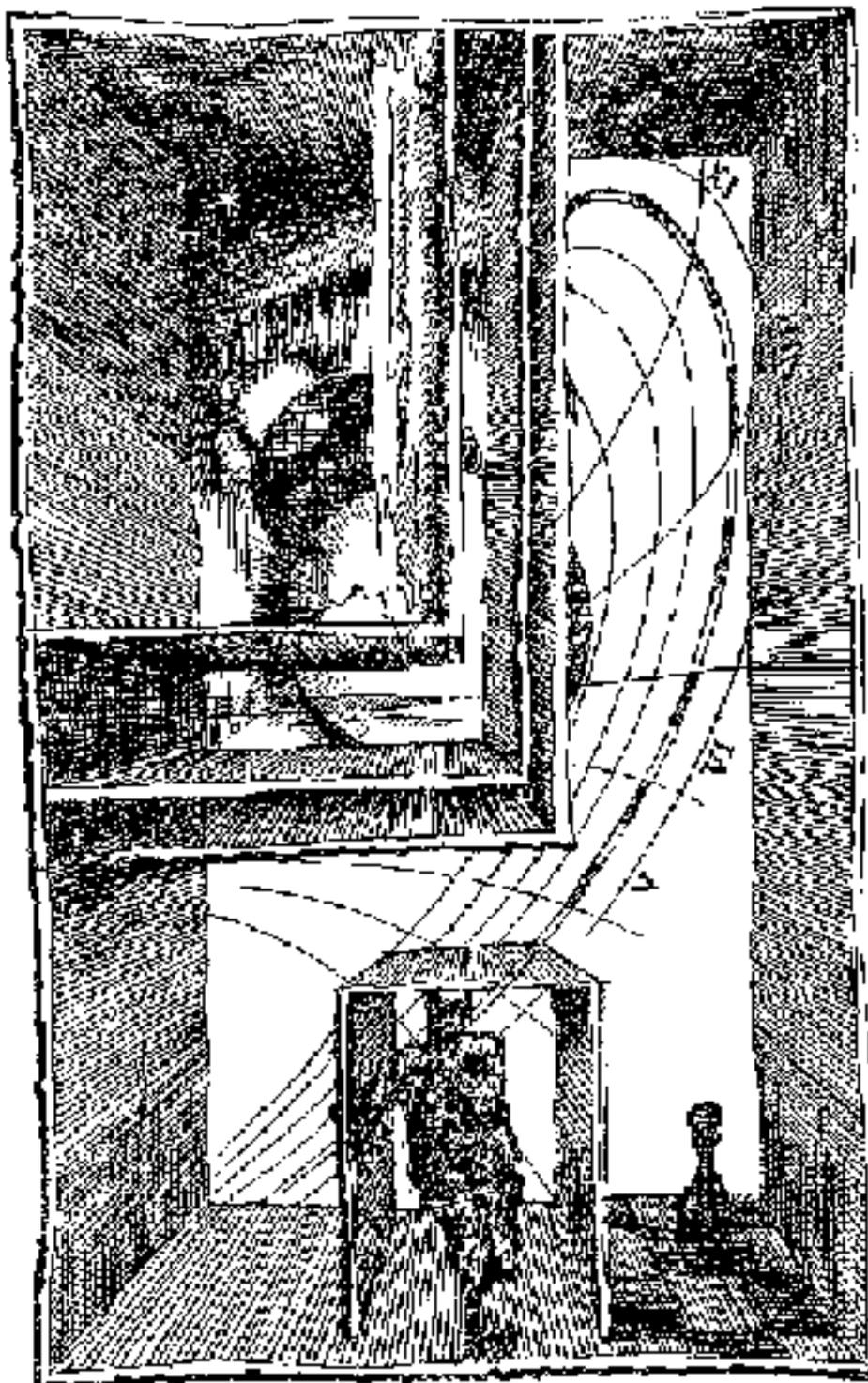
Такая позиция, конечно, не может претендовать на универсальность так же, как и терминология, которой я пользуюсь в книге. Тем не менее физикалистская позиция в сочетании с теми общественными идеями, которые благодаря информатике приобретают все большее значение, позволяет глубже исследовать некоторые особенности общественной эволюции, на мой взгляд, явно недостаточно изученные.

Начинаю свою книгу я с изложения той «картины мира», какой она мне представляется, и того места в ней человека, которое он занимает в этом вечно меняющемся и усложняющемся мире. После этого я постепенно перехожу к обсуждению проблем гуманитарных и рациональной общественной организации, в частности. Закончить книгу я попытался объяснением своего видения общественного устройства планеты XXI века. Но не как футуролог или утопист, а как исследователь сложных систем, который, опираясь на общие законы развития и знание прошлого, стремится увидеть контуры ближайшего будущего. Для этого мне и приходится значительную часть книги посвятить общеметодологическим проблемам.

## Часть I. От стратегии Природы к стратегии Разума

*Не то, что мните вы, природа:  
Не слепок, не бездумный лик –  
В ней есть душа, в ней есть свобода,  
В ней есть любовь, в ней есть язык.*

**Ф. Тютчев**



### **Продолжение разговора с читателем**

Для того чтобы выполнить задуманное, мне надо объяснить читателю, что меня приводит к представлению о характере первых десятилетий наступающего XXI века. Вот почему первая часть предлагаемой книги посвящена попытке увидеть и описать некоторые общие черты мирового эволюционного процесса и места в нем Человека; понять, что означает эпоха ноосферы, и рассказать о том, какой мне видится логика развития Природы, которая подво-

дит нас к понятию ноосферы как одного из возможных будущих состояний верхних оболочек Земли.

Подобные вопросы носят прежде всего общеметодологический, философский характер. В то же время трудности, порожденные развитием цивилизации, и растущая деградация окружающей среды, и ухудшение условий жизни людей рождают желание действовать, искать новые концепции общественного развития, создавать международные программы и т. д. Тем более что существует множество дел, которые, не откладывая на завтра, надо делать уже сегодня, – проектировать и внедрять безотходные технологии, пытаться сохранить такие уникальные экосистемы, как озеро Байкал и ему подобные природные феномены, защитить от «цивилизованных хищников» остатки бывшего разнообразия жизни на нашей планете и т. д. И может статься, что общие рассуждения о ноосфере, о единой картине эволюционного процесса могут показаться людям, которые занимаются практическими вопросами защиты природы, по меньшей мере неуместными в книге, которая претендует на анализ самых больших вопросов современности. Поэтому, прежде чем начать изложение, мне придется кое-что объяснить.

Наше всемирное общество стоит на распутье. Из множества дорог, которые нам сегодня открываются, предстоит выбрать, может быть, всего лишь одну! И без нового понимания, без нового осмысления всего процесса развития, его закономерностей и тенденций нам не удастся сделать необходимого выбора.

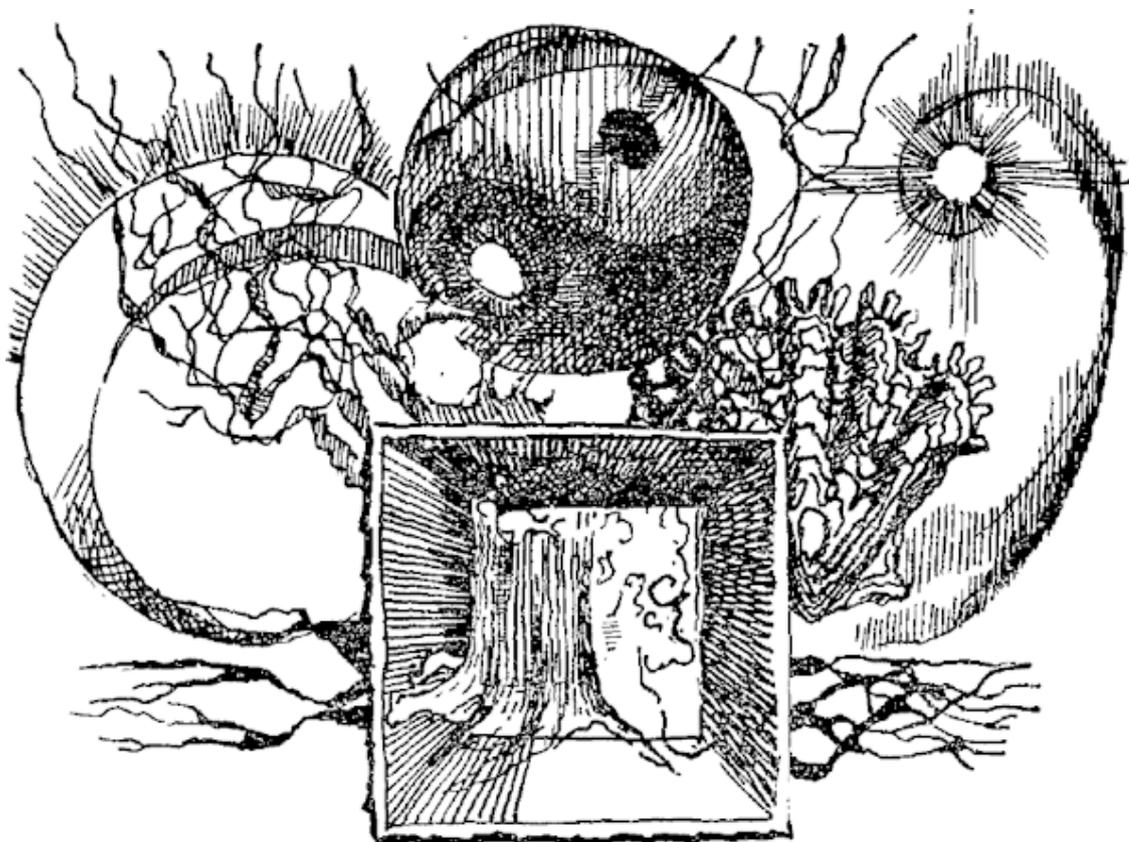
Из самых строгих расчетов мы сегодня уже знаем, что никакие безотходные технологии и иные природоохранные действия при всей их абсолютной и жизненной необходимости сами по себе не способны решить проблему спасительного взаимоотношения Человека и Природы. Нужно гораздо больше. При нынешней несбалансированности производства и потребления с естественными циклами биосферы подобные меры помогут лишь выиграть некоторое время для более радикальной перестройки, которой, может быть, придется затронуть и структуру самих биосферных циклов. А к такой перестройке нельзя приступить без достаточно целостной всеобъемлющей концепции того, что мы называем местом Человека во Вселенной.

Этот философский вопрос оборачивается самой что ни на есть прагматической проблемой – проблемой выбора стратегии человеческой деятельности. Эта связь, разумеется, достаточно опосредована. Ее разглядеть непросто, ибо она затрагивает глубочайшие тайны, как говорилось в былые времена, «человеческих душ», например, каким образом у людей формируются представления о том, что хорошо, а что плохо. Ведь именно такие критерии в конечном счете и определяют тот выбор поведения, который предстоит сделать Человеку в нынешнее время.

Мы не знаем всех особенностей становления нашего миропонимания; но то, что видение будущего требует знания прошлого, что общая познавательная позиция является его неотъемлемой составляющей, – это-то мы знаем точно.

Вот почему мне показалось необходимым относительно подробно рассказать о целом ряде вопросов, носящих общеметодологический и, если угодно, философский характер. Тем более что на их основе будет строиться и та схема поисков решения проблем коэволюции биосферы и Человека, которой посвящена вторая часть книги.

## Глава I. Эскиз мирового эволюционного процесса



### Оправдание единства

За последние десять лет развитие физики, биологии, общественных наук нам дало, кажется, необозримое множество фактов. Река знаний, ограниченная скалистыми каньонами в эпоху средневековья, вырвалась на равнину в эпоху Возрождения и разлилась на бесчисленное множество рукавов и протоков. И их уже невозможно охватить единым взглядом. Ученые, даже работающие в близких областях, перестают понимать друг друга. И часто не способны объяснить своим коллегам содержание предположений, гипотез, ради которых они затевают то или иное исследование. И при этом они могут иметь одинаковые Дипломы и говорить на одном и том же языке. Что же тогда говорить о людях, работающих в разных сферах науки. Гуманитарий и физик, экономист и биолог – можно ли говорить о них как о представителях единой культуры, способных оценить вклад тех или других в общую цивилизацию?

Эти вопросы уже давно волнуют ученых и философов. Знаменитый немецкий математик, вероятно, самый крупный математик XX века, Давид Гильберт, видя подобный процесс растекания реки знаний, говорил о том, что этот поток подобен горным рекам. Втекающие в пустыни, лежащие у подножий хребтов, эти реки постепенно разбиваются на ручейки и уходят в песок, так и не достигнув моря. Может быть, и нашим знаниям уготована подобная судьба – потеря единства потока и последующего его иссушения.

А замечательный английский романист и одновременно физик и философ Чарльз Сноу говорил, что в мире возникают две культуры – естественников и гуманитариев. Между ними образовалась пропасть, которая все время углубляется и расширяется – духовное и физическое необъединимы!

И кажется, что такой процесс дифференциации знаний, распадаения целого на отдельные ячейки диктуется самой логикой развития науки, необходимостью глубокой профессионализации.

Но одновременно были и другие суждения. Еще в прошлом веке известный русский физиолог Иван Сеченов говорил о том, что понять Человека можно только в его единстве – плоти, духа и природы, частью которой он является. И будущее науки лежит на пути объединения этих трех начал. Десятком лет позже Карл Маркс сказал нечто очень близкое: в будущем все науки о природе и обществе должны будут слиться в единую науку о Человеке.

Так где же истина? Я думаю, что правы и те и другие. Растекание реки знаний неизбежно. Оно диктуется необходимостью высокого профессионализма, конкретных детальнейших знаний, без которых дальнейшие исследования действительно могут исчерпать сами себя. Но в не меньшей степени нужны и синтетические конструкции, необходим комплексный разноплановый анализ, опирающийся на данные различных наук, требующий синтеза знаний, появления единых точек зрения. Их нужда особенно возрастает тогда, когда речь идет об оценке перспективы, о выборе дальнейших путей развития общества, о выборе его стратегии.

Другими словами, река знаний действительно распадается на все большее число рукавов и проток, но это не приводит к их усыханию, ибо непрерывно идет и обратный процесс. Он тоже очень многолик и многогранен и приводит не только к объединению разных дисциплин и развитию конкретных областей знаний, но и к новому целостному видению мира. И оно для Человека не менее необходимо, чем конкретные знания конкретных наук. Особенно в те времена, когда история общества переживает эпоху перехода от одних жизненных стандартов к другим.

Одним из важнейших элементов мировоззрения Человека является представление о мире и своем месте в этом мире или, как иногда говорят, о единой картине мира. Она меняется во времени. Новые научные данные ее непрерывно строят и пересматривают. И ее эволюция интересна и поучительна.

Истоки нашей европейской цивилизации лежат в античной Греции, создавшей культуру, обладавшую удивительной цельностью и единством. Древним эллинам – этому маленькому народу – удалось не только выжить и выстоять в окружении других более богатых и могущественных народов, но и оказаться родоначальником того рационального гуманизма, который сегодня определяет черты европейской культуры и которому, как мне кажется, именно и суждено будет найти выход из современных кризисных состояний.

Греки обладали на редкость цельным и ясным миропониманием. Был Космос, Небо, там жили боги. На Земле жили люди. Но пропасти между ними не было. Они составляли единое целое. Боги были очень похожи на людей. Они могли и пьянствовать, и прелюбодействовать. Но всегда были готовы вмешаться в судьбы людей, столь похожих на них самих. Хотя они могли их карать, но тем не менее их никогда не покидал дух доброжелательства по отношению к людям. Они готовы были им помогать и даже поднимать на небо и делать их равными себе. Я думаю, что основной завет христианства «возлюби ближнего своего как себя самого» в значительно большей степени обязан древнегреческой традиции, чем грозному указующему персту Иеговы.

И в темное тысячелетие средневековья влияние античного мира, связь с греческой культурой никогда не прерывалась. Ее связующими звеньями были развалины того, что называлось когда-то Римом, связь шла и через Византию, который смог дожить до эпохи Возрождения. Я употребил выражение «темное тысячелетие». Это выражение не совсем верное. В эту эпоху появились готика, сочинения отцов церкви, иконы Рублева. И самое главное – сохранилось аристотелевское видение мира, того неразрывного единства, где вместе живут и Бог, и Космос, и Человек. Связь с прошлым не покидала людей.

Но вот грянула революция, которую принято связывать с именами Коперника, Галилея и Ньютона. Возник научный метод, которому мы сегодня обязаны всеми достижениями науки и техники. Но вместе с приобретениями пришли и потери. Единый и цельный мир вдруг распался. Человек оказался из него изъят. Космос начал жить сам по себе, подчиняясь законам физики, законам заведенного автомата, судьба которого в значительной степени предначертана. А человек тоже сам по себе: с его духовным миром, с его иррациональностью и непредсказуемостью поведения – такой формировалась новая парадигма. И первым увидел эту противоречивость Э. Кант – противоречие между жесткой регламентацией мира физики и ничем не ограниченным полетом духовности.

Эпоха Просвещения довершила эту разобщенность. Вспомним рассказ о том, как будущий маркиз де Лаплас – маркизом он стал после реставрации – подарил императору Наполеону свою книгу с изложением космогонической теории, известной ныне под именем теории Канта – Лапласа. Прочтя эту книгу, Наполеон сказал Лапласу: «Я не увидел место Бога в твоей системе». На это Лаплас ответил: «Мой император, этой гипотезы мне не потребовалось». Таким образом, к началу XIX века единство миропонимания осталось лишь в религиозных учениях.

Если век XVIII мы имеем полное право назвать веком Ньютона, то век XIX, надо согласиться в этом с Больцманом, следует назвать веком Дарвина. Создание эволюционной теории тоже было революцией, подготовленной систематиками: Ламарком и многими другими. Так же как и в механику и физику, теперь уже в биологию пришли идеи движения и развития. Более того, были названы три ключевых слова: «изменчивость», «наследственность» и «отбор», которым, как мы увидим ниже, будет суждено сделаться основой некоего весьма универсального языка, описывающего процессы развития языка, позволяющего объединить, казалось бы, самые различные этажи познания.

Но теория эволюции Дарвина не содержала сама по себе какого-либо синтезирующего начала. Более того, она в чем-то противоречила тому представлению о материальном мире, которое сложилось в физике. Вспомним, что именно в середине XIX века, то есть в то же время, когда создавалась теория происхождения видов, было установлено второе начало термодинамики, и понимание его значения для физики совпало с утверждением дарвинизма. Но согласно второму закону термодинамики тенденции в развитии замкнутых систем проявлялись в росте энтропии, то есть меры хаоса, постепенной потери организованности. А теория эволюции живого вещества утверждала как раз обратное. Со временем происходит непрерывное усложнение организации и рост разнообразия, которое позднее получит в биологии название закона цефализации. Более того, как однажды покажет Фишер, усложнение и разнообразие организационных структур необходимы для обеспечения жизнестойкости, устойчивости популяций (закон Фишера).

Таким образом, во второй половине XIX века произошло очевидное размежевание наук, одни из которых мы теперь относим к точному естествознанию (физические науки), другие к естественным – это биология в первую очередь. Но, кроме того, существуют еще и науки об обществе, о его развитии и самом Человеке. Однако все эти дисциплины развивались отдельно. Считалось, что каждая из этих трех сфер нашего мира существует как бы сама по себе и, во всяком случае, подчиняется своим собственным законам.

Но в том же XIX веке начали формироваться и иные тенденции. Они шли сначала главным образом от философии и религиозного мышления. Я уже сказал, что Кант – один из создателей первой космогонической гипотезы, этого типичного порождения ньютоновского образа мышления, – уже обратил внимание на то противоречие, которое существует в картине мира, сложившейся к концу XVIII века: Космос, Вселенная сами по себе и феномен человека сам по себе. Истинно научными считались только те знания, которые не зависели от человека, который являл собой лишь постороннего наблюдателя. В такой постановке очень

многое осталось за кадром научного мышления. Еще более резко сказал об этом И. Одоевский: европейский рационализм нас лишь подвел к воротам истины, но открыть их он не сможет. И вот в России во второй половине XIX века возникает своеобразное умонастроение называемое теперь русским космизмом.

Это течение, которое в философии было представлено целым рядом блестящих умов, таких, как И. Киреевский, В. Соловьев, Н. Федоров, П. Флоренский, Н. Лосский, а в литературе – Л. Толстым, Ф. Достоевским и многими другими, не было школой в ее научном понимании. Это было именно умонастроение широких кругов русской демократической интеллигенции. Вот ее основные черты: Человек – составная часть Природы; Человека и Природу не следует противопоставлять друг другу, а рассматривать их надо в единстве; Человек и все, что его окружает, – это частицы единого, Вселенной. И в этом контексте не так уж важно то, что один назван Богом, а другие – Вселенной. Поэтому не случайно, что к течению русского космизма были близки многие естествоиспытатели и ученые (К. Циолковский, Д. Менделеев, И. Сеченов и др.).

Несмотря на всю пестроту этого течения мысли, именно в его рамках зародилось понимание неизбежности противоречий между Разумом и Природой, Человеком и окружающей средой. И вместе с ним пришло понимание ответственности Разума за отыскание путей его разрешения и того, что эти противоречия могут однажды привести человечество к катастрофе. Возникли идеи совершенствования нравственного начала, создания некоего нового мирового правопорядка, актуальность которого возросла только в наше время на фоне грандиозных достижений естественных наук, техники и технологий. Новый правопорядок и новая моральная основа человеческого общества – необходимые условия дальнейшего развития цивилизации, всего человеческого рода. И наиболее ярко об этом сказал, вероятно, Ф. Достоевский. Сейчас подобное эмоциональное восприятие технической цивилизации и урбанизации, предчувствие надвигающегося морального кризиса, характерное не только для него, но и для других космистов, превращается в «эмпирическое обобщение», в реальность, определяющую нашу деятельность. Оно диктует нам необходимость создания новой морали, нового взаимоотношения между народами, нового отношения к себе и природе.

За восемьдесят лет до Печчеи и Форрестера – людей, бесспорно, замечательных, Н. Федоров писал: «Итак, мир идет к концу, а человек своей деятельностью даже способствует приближению конца, ибо цивилизация эксплуатирующая, а не восстанавливающая, не может иметь иного результата, кроме ускорения конца» (Федоров Н. Соч. М., 1982, с. 301). И чтобы отчетливее передать черты той атмосферы конца прошлого века, в которой развивался критицизм существовавшей тогда научной парадигмы, приведу еще одно высказывание Н. Федорова: «Свобода без власти над природой – это все равно, что освобождение крестьян без земли». (Эти слова писались через 30 лет после ликвидации крепостного права в России. – Н. М.) «При такой свободе остается только ждать и прогнозировать, когда же человечеству не станет хватать угля, железа и хлеба, чтобы в конце концов подчиниться природе и отдать ей свою жизнь» (там же с. 211).

В понимании И. Федорова власть над природой совсем не тождественна установке покорения природы Ф. Бэкона. Она означает такую способность вмешиваться в естественный ход природных и общественных процессов, которая обеспечит человечеству его будущность.

Иными словами, нужны не слепое подчинение обстоятельствам и констатация фактов, а попытки конструктивного решения возникающих коллизий и трудностей, попытки понять тот общепланетарный порядок, который необходим для продолжения истории цивилизации. Именно общепланетарный, ибо биосфера и общество – это одно целое, и никакие локальные мероприятия по спасению того или другого не могут дать удовлетворительного результата.

Сочинение Н. Федорова, которое я цитировал, так и называется – «Философия общего дела». Его можно рассматривать как один из идейных источников современной системы взглядов о коэволюции общества и природы. Несмотря на религиозный характер сочинения, основное его содержание – это поиск конструктивного порядка во взаимоотношениях Человека и окружающей среды. «Власть над природой», в понимании Н. Федорова, это, по существу, и есть коэволюция биосферы и человека. Но для ее обеспечения нужны новые знания и новая нравственность – вот основной мотив федоровских работ и всего того направления мысли, которое мы сегодня называем «русским космизмом».

Для дальнейшего важно заметить, что космисты полагали, что мысль, сознание – такая же принадлежность Природы, как и «звезды, галактика, микробы, камни...». Я думаю, что эта цельность их восприятия оказала влияние на развитие русской естественнонаучной мысли и послужила причиной того феномена глубокого взаимопроникновения научной и философской мысли, которую мы видим в России во второй половине XIX века. Во всяком случае, стремление к построению обобщающих, синтетических конструкций и схем становится ведущей тенденцией развития русского естествознания второй половины XIX века. Достаточно вспомнить Д. Менделеева, создавшего свою знаменитую периодическую систему, или известное высказывание И. Сеченова о том, что человека надо изучать в единстве его плоти, духа и окружающей среды, высказывание, которое опередило на десятилетия развитие физиологии не только в России.

К числу подобных системных конструкций надо, безусловно, отнести и учение о почвах В. Докучаева, понявшего, что именно почвы являются той основой, которая связывает в единое целое всю биосферу.

Я мог бы привести еще целый ряд примеров, иллюстрирующих эту тенденцию к созданию общесистемных концепций, характерных для естествознания второй половины XIX века.

Итак, взамен исследовательской парадигмы, рожденной эпохой Просвещения, постепенно приходит понимание того, что Человек – активный фактор Природы, и он уже не представляется ученым сторонним наблюдателем. Даже процесс изучения и наблюдения природных процессов может вносить в них необратимые изменения. Пройдет еще, однако, несколько десятков лет, прежде чем эта интуитивная истина или, лучше сказать, философское прозрение превратится в строгое утверждение в физике микромира.

## Учение о ноосфере

Несмотря на появление представлений о единстве Природы и Человека и их взаимобусловленности, мир неживой материи и живого вещества и мир Человека и общества, им созданного, в XIX веке еще не были взаимосвязанными в сознании ученых. Научные дисциплины в этих трех сферах жили еще долгое время самостоятельной жизнью. А эмпирического материала было недостаточно, чтобы воспроизвести единую цельную картину мира. Таким связующим звеном оказалось учение о ноосфере, которое начало формироваться В. И. Вернадским в начале нынешнего столетия. Но путь к нему был далеко не прост и потребовал объединения огромного эмпирического материала.

В. И. Вернадский родился в 1863 году и после окончания университета занялся минералогией и геохимией, наукой, которая делала тогда свои первые шаги. Занятия геохимией и изучение эволюции земной коры привели его к проблемам изучения роли живого вещества в эволюции земной оболочки и биосферы. Он был, вероятно, первым (или одним из первых), кто понял, что весь лик Земли, ее ландшафты, химизм океана, структура атмосферы – все это порождение жизни. К 1900 году В. Вернадским был подытожен многолетний опыт исследований. В результате возникла новая научная дисциплина – биогеохимия. В книге с

таким же названием он развернул широкую программу эволюции биосферы с момента ее возникновения и до настоящего времени.

В основе этой картины развития Земли как космического тела необходима была некоторая изначальная гипотеза, фиксирующая факт становления жизни на нашей планете. В. Вернадский не занимался специально проблемой возникновения жизни, ограничиваясь констатацией факта, который он называл эмпирическим обобщением: жизнь на Земле возникла – это эмпирический факт. Его он и взял за основу своей реконструкции. Более того, В. Вернадский полагал, что жизнь на Земле имеет достаточно древнее происхождение.

Сегодня это предположение имеет разнообразные подтверждения. Но главное из них – это обнаружение следов жизни на Земле, которая существовала 3,5–3,8 миллиарда лет тому назад. Другими словами, возникновение Земли как космического тела, происшедшее около 4–4,5 миллиарда лет тому назад, и появление на ней жизни произошли по космическим масштабам почти одновременно. Этот факт переоценить невозможно!

В. Вернадский полагал жизнь космическим явлением. На этом основании его иногда считают сторонником гипотезы панспермии С. Аррениуса, тем более что он состоял с ним в переписке. Это утверждение ошибочно. Из всего учения Вернадского следует, что феномен жизни, возникновение живого вещества он считал естественным этапом развития материи. «Жизнь... – писал В. Вернадский, – является не случайным явлением в мировой эволюции, но тесно с ним связанным следствием» (см.: Вернадский В. И. Живое вещество. М., 1978, с. 46).

Гипотеза о том, что жизнь явление космическое, имеет очевидное подтверждение: жизнь существует на космическом теле – планете Земля. Как мне представляется, В. Вернадский был первым из ученых-естественников, который понял космическое, может быть, даже космогоническое значение факта возникновения жизни на Земле и начал систематическое исследование ее влияния на развитие планеты, представляя жизнь «буфером» между космосом и «косным», то есть неживым веществом Земли, буфером, способным использовать космическую энергию для преобразования планетарного вещества. Таким образом жизнь становится катализатором процесса развития! Он не ставил вопроса о том, каким образом на Земле возникла жизнь. Механизм панспермии мог быть лишь одной из возможных причин ее появления.

Сегодня подобные воззрения о возникновении живого вещества как естественного этапа мирового космического эволюционного процесса имеют многочисленные подтверждения. В этой связи мне представляется чрезвычайно важными, имеющими фундаментальное значение для нашего понимания общей картины развития новые данные об эволюции биологических макромолекул. Особую роль в изучении этой эволюции сыграли работы М. Эйгена. Мне кажется, что из всего множества фактов предбиологической эволюции, которые были установлены за последние годы, важнейшим следует считать демонстрацию возможности возникновения уже на уровне биологических макромолекул явления редупликации, то есть размножения и метаболизма, и дать наглядные интерпретации этих явлений.

В последние годы все большее внимание в теории самоорганизации сложных систем привлекают проблемы самовоспроизведения без изменения организации системы. Такое явление получило название аутопоэза. И, по-видимому, только М. Эйгену удалось построить удовлетворительную математическую модель аутопоэтической системы, отражающую реальный процесс биологических макромолекул (см.: Эйген М. Эволюция макромолекул. М, 1974).

Но вернемся снова к В. Вернадскому. Отправляясь от того факта, что жизнь так или иначе на Земле возникла, он, по существу, в своей «Биогеохимии» сумел изложить историю развития биосферы и всей внешней оболочки Земли, точнее, дать реконструкцию этого процесса. Пленка жизни, возникшая на поверхности планеты, многократно ускоряла все

процессы ее эволюции за счет способности поглощать и утилизировать энергию космоса, и прежде всего Солнца, и трансформировать с ее помощью земное вещество. Сравнение ровесниц Земли и Луны наглядно демонстрирует эффективность живого вещества как катализатора мирового процесса развития.

Таким образом, по Вернадскому, наша планета и космос представляются ныне как единая система, в которой жизнь, живое вещество связывают в единое целое процессы, протекающие на Земле, с процессами космического происхождения. На протяжении всей истории Земли количество живого вещества в биосфере согласно оценкам В. Вернадского было практически постоянным. За счет энергии Солнца возникли так называемые геохимические циклы, или круговорот веществ в природе, в который вовлекались все новые и новые массы первичной материи. Начали возникать толщи осадочных пород, которые преобразовывались затем геологическими и геохимическими процессами.

Эта грандиозная картина общепланетарного развития включала в себя и появление человека – носителя Разума, который еще раз многократно ускорил все процессы, протекающие на планете. Породив Человека, Природа «избрала» еще один могучий катализатор мирового процесса развития.

Создание биогеохимии естественно поставило новый вопрос – вопрос о месте Человека в этой картине общепланетарного развития. И В. Вернадский дал на него ответ. Уже в первые годы XX века он начал говорить о том, что воздействие Человека на окружающую Природу растет столь быстро, что не за горами то время, когда он превратится в основную геологообразующую силу. И, как следствие, он необходимо должен будет принять на себя ответственность за будущее развитие Природы. Развитие окружающей среды и общества сделаются неразрывными. Биосфера перейдет однажды в сферу разума – в ноосферу. Произойдет великое объединение, в результате которого развитие планеты сделается направленным – направляемым силой Разума!

Заметим, что сам термин «ноосфера» В. Вернадскому не принадлежит. Он возник, по-видимому, в 1924 году на семинаре Бергсона в Париже во время обсуждения доклада В. Вернадского, в котором он излагал свою концепцию развития биосферы. Его предложил французский исследователь Э. Леруа. Впоследствии он широко использовался П. Тейяр-де-Шарденем. Сам В. Вернадский стал употреблять термин «ноосфера» только в последние годы своей жизни.

С термином «ноосфера» не все просто: однозначное толкование его отсутствует. Широко распространено наиболее простое его толкование – сфера Разума. Так принято называть часть биосферы, которая оказывается под влиянием человека и преобразуется им. Подобная трактовка позволяет говорить, например, о ноосфере времен древних греков, о ноосфере в эпоху средневековья, что и делают некоторые авторы, например Л. Н. Гумилев. И переход биосферы в ноосферу, по их мнению, означает всего лишь постепенное «освоение» человеком биосферы.

Подобная трактовка этого термина, достаточно широко распространенная среди специалистов-естественников, мне представляется неправомерной, если говорить о ноосфере Вернадского, и противоречащей самому духу его учения. В. Вернадский не раз писал о том, что согласованное с Природой развитие общества, ответственность и за Природу, и за ее будущее потребуют специальной организации общества, создания специальных структур, которые будут способны обеспечить это совместное согласованное развитие. Значит, ноосфера – это такое состояние биосферы, когда ее развитие происходит целенаправленно, когда Разум имеет возможность направлять развитие биосферы в интересах Человека, его будущего.

По этим причинам я считаю более уместным говорить не о ноосфере, а об эпохе ноосферы, когда человек уже сможет разумно распоряжаться своим могуществом и обеспе-

чить такое взаимоотношение с окружающей средой, которое позволит развиваться и обществу, и Природе.

Биосфера существовала до появления на Земле человека, может существовать и без него. Но человек вне биосферы существовать не может – это аксиома. Во всяком случае, в обозримом будущем. Значит, выполнение принципа совместного развития, обеспечение коэволюции биосферы и общества потребуют от человечества известной регламентации в своих действиях, определенных ограничений.

Способно ли будет наше общество поставить свое развитие в определенные рамки, подчинить его тем или иным условиям «экологического императива»? Ответ на этот вопрос сможет дать только история.

Таким образом, переход биосферы в ее новое состояние, которое мы называем теперь ноосферой, то есть вступление человечества в новую эру своего развития, в эпоху ноосферы, обеспечение коэволюции человека и биосферы не могут произойти автоматически. Это будет мучительный и небыстрый процесс выработки новых принципов согласования своих действий и нового поведения людей. Другими словами, новой нравственности. Это означает, что переход в эпоху ноосферы потребует коренной перестройки всего нашего бытия, смену стандартов и идеалов.

В последующих главах книги я вернусь к этой проблеме. По существу, она является центральной проблемой, стоящей сегодня перед человечеством: как должно быть организовано общество, чтобы обеспечить коэволюцию биосферы и Человека, обеспечить дальнейшее развитие цивилизации. Проблема войны, проблема выживания – это ее составляющие.

## О единой картине мира

Учение Вернадского о ноосфере оказалось тем завершающим звеном, которое, объединив эволюцию живого вещества с миром неживой материи и перекинув мост к современным проблемам развития общества, подвело нас и к новому видению процессов, в нем происходящих. Сейчас благодаря этому мы имеем возможность представить себе общую схему единого процесса развития материального мира.

В. Вернадский начинал свою реконструкцию единого процесса развития земной оболочки с момента, который отстоит от сегодняшнего на 4,5 миллиарда лет. Говоря сегодня об этой реконструкции, мы можем опираться на открытия последних десятилетий в астрофизике, что позволит нам сдвинуть начало отсчета еще на полтора-два десятка миллиардов лет. И тот процесс, который изучал В. Вернадский, сейчас мы имеем возможность рассматривать лишь как фрагмент единого процесса развития материального мира.

Чтобы получить возможность дать единое синтетическое описание всего процесса самоорганизации материи, то есть эволюции нашей Вселенной, нельзя обойтись по меньшей мере без двух фундаментальных предложений. Во-первых, мы должны постулировать тот факт, что действительно имеет место синергизм (то есть саморазвитие материи), подчиненный действию определенных законов. Ниже я постараюсь разъяснить тот смысл, который вкладываю в эту гипотезу (аксиому, постулат).

Во-вторых, необходимо, так же как и в реконструкции Вернадского, некоторое предположение о «начале». У В. Вернадского этим началом было эмпирическое обобщение: «жизнь на Земле возникла». В общем же случае это может быть или гипотеза большого взрыва, или нечто ей эквивалентное, утверждающее возникновение Вселенной, то есть момента начала единого процесса развития. Сейчас мы можем отнести эту отметку назад на  $1,5 \times 10^{10} - 2 \times 10^{10}$  лет. Но хотя современные космологические гипотезы и соответствующие опытные факты (реликтовые излучения, например) открыли горизонты, которые были неведомы во времена

Вернадского, они только расширили то представление о единстве процесса развития материального мира, которое было исходной отправной точкой его учения о ноосфере.

За последние несколько десятилетий был сделан еще ряд эпохальных открытий, позволивших ныне связать многие факты, носившие раньше фрагментарный характер. В результате перед исследователем разворачивается грандиозная панорама возникновения из хаоса (то есть малоструктурированного, с нашей точки зрения, вещества) все новых и новых образований, взаимосвязанных систем разной временной и пространственной протяженности. Я хочу подчеркнуть, что эти образования никогда не бывают стабильными, устойчивыми. Они всегда далеки от равновесия, всегда квазистабильны и, разрушаясь, снова возвращаются в хаос, давая материал для развития квазистабильных образований.

Употребляя слово «хаос», я оперирую понятием, весьма плохо определенным. В самом деле, что означает плохо- или малоструктурированная среда? По-видимому, только лишь одно: с нашими средствами познания мы не имеем возможности установить большое количество ее характеристик, которые могли бы отнести к элементам ее организации. Только в этом смысле я и буду употреблять термин «хаос».

Общий процесс самоорганизации напоминает чем-то развитие турбулентного течения в жидкости. Неустановившаяся турбулентность представляет собой хаотическое движение жидкости. Но в этом хаосе присутствует всегда своеобразный порядок: в нем непрерывно возникают более или менее долгоживущие образования – разнообразные вихри, например, вихревые дожди Кармана. Проследить за всеми деталями движения практически невозможно; даже с помощью компьютеров любой гипотетической мощности мы не сможем рассчитать всех деталей этого течения. И обусловлено это следующими обстоятельствами:

а) принципиальной неустойчивостью (некорректностью) процессов турбулентного движения: два близких начальных состояния могут породить совершенно различные траектории развития;

б) принципиальной стохастичностью – непредсказуемостью внешних воздействий.

Именно эти два обстоятельства и характеризуют то состояние, которое естественно называть хаотичным.

Я хотел бы заметить, что подобные обстоятельства свойственны не только турбулентным течениям. Они характерны для любых достаточно сложных систем, а тем более для общего мирового процесса развития.

Указанные обстоятельства и их сочетание порождают, как мы увидим ниже, закон дивергенции, следуя которому процессы развития приводят к фантастическому разнообразию различных форм организации материи. Такова природа вещей!

И еще одно общее свойство развития материального мира, которое все более и более осознается. Эволюция, развитие носят направленный характер – происходит непрерывное усложнение организационных форм. Последнее обстоятельство, казалось бы, противоречит второму закону термодинамики, если считать нашу Вселенную замкнутой системой.

Сегодня мы еще не можем с достаточной отчетливостью объяснить этот феномен развития, так же как и отсутствие временной симметрии, которые, по-видимому, тесно связаны друг с другом. Но мы их можем принять как эмпирический факт или, по терминологии В. Вернадского, считать их «эмпирическим обобщением».

На определенной стадии мирового процесса «турбулентного» развития Вселенной в ней возникает жизнь. Это еще одно эмпирическое обобщение: жизнь существует, во всяком случае на Земле, где она однажды появилась. Этот факт отвечает представлению В. Вернадского о космическом характере жизни.

Следует думать, что жизнь «земного типа» возникла именно на Земле, а не была на нее занесена извне. Для такого утверждения есть целый ряд аргументов. Попробуем перечислить некоторые из них.

Первый и, может быть, важнейший аргумент в пользу гипотезы о земном происхождении жизни на нашей планете дает нам изучение оптических свойств живого вещества. Оказывается, что в отличие от неживого вещества живое, или продукты его жизнедеятельности, всегда оптически активно. Это означает, что его молекулы обладают общей асимметрией, определяющей способность живого вещества к поляризации света, который через него проходит. В неживом же веществе молекулы обладают разными свойствами симметрии. В результате их смешения такое вещество рассеивает свет и уже не обладает способностью его поляризации. Аминокислоты же, из которых состоят живые организмы, а также вещества, прошедшие сквозь организм, обработанные им или образовавшиеся в результате его распада, всегда обладают такой уникальной способностью.

Этот факт экспериментальный. Он был открыт еще в прошлом веке Л. Пастером и П. Кюри и имеет огромное значение для понимания особенностей мирового эволюционного процесса вообще и возникновения жизни в особенности, ее роли в трансформации материи и изменении ее свойств.

Представим себе два ряда молекул – оптических изомеров – так называемые правые и левые молекулы. Они неразличимы по своим физико-химическим свойствам. Чтобы их отличить, необходим специальный инструмент, если угодно, некоторый фильтр, распознающий особенности их симметрии. Таким фильтром служит живое вещество, которое всегда построено из однотипных (как правило, левых) оптических изомеров. Почему же все живое характеризуется такой асимметрией – ответа на этот вопрос пока нет! (См. подробнее: Кизель В. А. Физические причины диссимметрии живых систем. М., 1986.) Но благодаря этому у нас теперь есть возможность отличать вещество биогенного происхождения от вещества неживого. Возникла парадоксальная ситуация: мы не способны ответить на вопрос о том, что же такое жизнь, и в то же время мы имеем способ отличить живое от неживого.

В распоряжении ученых сейчас уже есть определенное количество вещества космического происхождения. Это метеориты, выпавшие на Землю, и лунный грунт (доставленные американскими экспедициями 1968 года и советскими автоматическими аппаратами). Его изучение показывает, что в космосе происходят процессы, в результате которых там могут возникать биологические макромолекулы. Это обстоятельство трудно переоценить. Оно еще раз показывает, что усложнение организации материи и выход ее в предбиологическую фазу характерны не только для нашей планеты. Такие процессы типичны, по-видимому, для Вселенной в целом, то есть для мирового эволюционного процесса.

Вместе с тем у нас нет пока ни одного факта, указывающего на то, что в космосе, во всяком случае в ближнем космосе, существует вещество биогенного происхождения, обладающее оптической активностью. Пока что весь «космический материал», оказавшийся на Земле, оптически нейтрален. Это и означает, что он не может иметь биогенного происхождения.

Вот почему предположение о том, что земная жизнь имеет земное происхождение, является наиболее естественным.

Но оптическая активность живого вещества и изучение космической материи не исчерпывают доказательства в пользу земного происхождения жизни. Другой аргумент не меньшей значимости – это существование на Земле генетического кода, единого для всего живого. Единый алфавит из четырех букв – четырех нуклеотидов и еще двадцати аминокислот, – это, вероятно, следствие некоторого процесса естественного отбора, сохранившего на Земле наиболее устойчивую, наиболее приспособленную к нашим условиям форму передачи наследственной памяти – наследственной информации, которая кодируется нуклеиновыми кислотами и обеспечивает «эффективную наследственность». Единство генетического кода очень трудно объяснить, отрицая предположение о том, что земная жизнь возникла на Земле и является естественным этапом ее эволюции.

Еще один аргумент в пользу земного происхождения жизни дают оценки В. Вернадского количества живого вещества. Он считал, что оно на протяжении всей истории земной жизни было практически постоянным. Это утверждение, может быть, и не совсем точно, но тот факт, что жизнь действительно, как костер из сухих веток, вспыхнула на Земле и заполнила за ничтожный отрезок времени, по космическим масштабам, все возможные экологические ниши, по-видимому, не вызывает сомнений у палеонтологов.

Наконец, современные представления о предбиологической эволюции никак не противоречат возможности возникновения жизни на самой планете. Более того, отказ от этого предположения потребовал бы новых, еще труднее проверяемых гипотез.

**Примечание.** Утверждение того, что жизнь – явление космическое, естественный этап самоорганизации материи, вовсе не означает, что это неизбежная фаза развития ее. Это просто одна из возможностей процесса ее самоорганизации, одна из виртуальных форм развития. Но будет ли подобная форма реализовываться в тех или иных условиях – это уже совсем другой вопрос.

На основании всего сказанного я буду в той гипотетической картине, которую я собираюсь представить читателю, считать возникновение жизни естественным этапом саморазвития земной материи.

Но надо заметить, что все перечисленные факты, включая замечательные исследования М. Эйгена, нас практически не приблизили к пониманию того, что принято называть феноменом жизни, а тем более к тому пониманию, которое позволило бы нам дать его достаточно полное определение. Но, вероятно, благодаря этому мы начинаем постепенно догадываться, что между живым и неживым, вероятно, и не существует столь резкого рубежа, который предполагался до сих пор. Граница между живым и неживым, наверное, размыта, а многообразие форм самоорганизации материи, может быть, содержит устойчивые образования, которые трудно отнести только к живой или неживой природе. Лишь отойдя достаточно далеко от этой границы, мы можем с уверенностью говорить о том, что заведомо является живым, и тогда формулировать для него знаменитый принцип Пастера – Редди: живое только то, что происходит от живого.

**Примечание.** Отсутствие известных нам форм вещества, которые не могут быть идентифицированы в качестве живого или неживого вещества, допускает объяснение с двух принципиально различных позиций. Если мы примем за гипотезу то, что живое вещество не может возникнуть из неживого, то есть абсолютную справедливость эмпирического принципа Пастера – Редди для всех уровней организации вещества, то мы должны будем признать либо самостоятельное происхождение живого (так же, как и остальной Вселенной), либо вечность его существования.

Если же мы примем схему развития материи, согласно которой жизнь – это естественный этап развития ее организационных форм, то нам остается принять лишь одну гипотезу – о неустойчивости переходных форм.

Последняя гипотеза кажется мне предпочтительней – она естественна, во всяком случае, для специалистов, занимающихся существенно нелинейными проблемами. В самом деле, в природе мы можем наблюдать лишь относительно долгоживущие образования (обладающие относительно большой стабильностью), которые являются предметом наших исследований. И хотя не существует решающего опытного материала, который бы подтверждал формулируемую гипотезу, я буду принимать именно ее! В этом случае ответ на вопрос о том, что же в конце концов есть живое? – может быть и не столь уж важен. Мне кажется, что более важно понимание того, что переход от неживого к живому – это лишь один из этапов

единого процесса самоорганизации бесконечного процесса, бесконечного усложнения форм существования материи.

Итак, в процессе развития материального мира на одной из планет Солнечной системы – на планете Земля – вспыхнула жизнь. Из бесчисленного количества возможных форм существования материи, заготовленных Природой впрок, то есть форм виртуально допустимых ее законами, реализовывалась та, которую мы сегодня называем «живым веществом». Другими словами, на этой планете сложились условия, благодаря которым биофизико-химические процессы могли привести эволюцию биологических молекул в такое русло, которое допускает их превращение в «живое вещество» – термин, который ввел Вернадский и который полнее раскрывает смысл того, что чаще называется живой материей.

Появление на поверхности Земли живого вещества качественно изменило характер ее эволюции. Луна и Земля практически ровесники. Но на поверхности Луны за протекшие три с половиной миллиарда лет не многое изменилось. Разве что кратеров стало больше и большее количество коренных пород превратилось в пыль.

Совсем иной оказалась история земной оболочки. Под действием живого вещества, способного использовать энергию Солнца, начала изменяться, метаморфизировать внешняя оболочка коренных пород. В сочетании с вулканизмом и тектоническими (внутренними) процессами Земли стали образовываться совершенно новые формы горных пород, которых нет на Луне и других близко к ней расположенных космических телах. Граниты, гнейсы, песчаники – это все следствия совместной «работы» земной биогеохимической лаборатории и естественного тектонизма.

Вместе с развитием процессов изменения литосферы, атмосферы и океана стремительно развивалась сама жизнь, множились и усложнялись ее формы. История нам не сохранила остатков тех анаэробных существ, которые, овладев фотосинтезом и хемосинтезом, начали перестраивать земную атмосферу и менять химический состав океанов. Тем не менее нынешний состав атмосферы, во всяком случае содержание в ней кислорода, установился, по-видимому, на очень ранних стадиях истории Земли.

Развитие живого вещества шло все ускоряющимися темпами. Огромный шаг в эволюции живого вещества был сделан тогда, когда появились эукариоты с их кислородным дыханием. Можно назвать и еще целый ряд подобных скачкообразных изменений форм жизни, резко ускоривших как само развитие вещества, так и поверхность планеты в целом.

Когда-то на Земле было царство прокариотов. Именно им обязана наша планета своей кислородной атмосферой в первую очередь. И они, по-видимому, практически не знали естественной смерти. Прокариоты могли существовать в совершенно невыносимых условиях, которые были три миллиарда лет тому назад на нашей планете: активнейший вулканизм, интенсивная ультрафиолетовая радиация, не удерживаемая озоновым слоем... Они были, по-видимому, самыми приспособленными живыми существами, которые когда-либо жили на планете. Их потомки, например синезеленые водоросли, и сейчас обладают потрясающей живучестью. Но не им, способным сохранять свой гомеостазис так, как это не могло делать ничто живое, принадлежало будущее.

Царство прокариотов однажды было завоевано эукариотами. На этот процесс ушло, наверное, не меньше миллиарда лет. Переход от прокариотов к эукариотам – это грандиозная перестройка биосферы. С точки зрения биолога, отличие этих двух видов микроскопических «элементов жизни» было, наверное, куда большим, чем отличие современного человека от его далекого предка – австралопитека. Эукариоты были уже смертны в самом обычном смысле слова. Эту цену они заплатили за обретение кислородного дыхания. Но вместе с ним они обрели и во много раз большую, чем у прокариотов, эффективность использования

энергии. Благодаря этому они оказались способными к более быстрой эволюции и «самосовершенствованию».

Последнее слово я не случайно взял в кавычки. Природа не знает, что лучше, а что хуже, – идет непрерывный процесс самоорганизации. В результате множатся формы и усложняется организационная структура. Но так или иначе царство прокариотов однажды окончилось, и на Земле начали царствовать эукариоты, от которых произошло и все остальное.

Итак, еще на заре жизни на Земле выжили не самые стабильные. Почему и как – на эти вопросы у нас нет хороших ответов. Но замечу только, что такая ситуация возникала в истории Земли не единожды.

Динозавры и млекопитающие появились практически одновременно. Но многие сотни миллионов лет млекопитающие были на нижних этажах жизненной иерархии: царствовали динозавры. Они были прекрасно приспособлены к условиям обитания. Они хорошо переносили климатические и многие другие превратности земной истории. И вдруг за относительно короткий период они исчезли! Совсем и навсегда! Передав эстафету власти млекопитающим.

Почему, как такое могло произойти? Ученые до сих пор не могут разгадать этой загадки. Выдвигаются различные теории. Их обсуждают, спорят, приводят аргументы и контраргументы. Но до сих пор проблема гибели динозавров остается одной из волнующих тайн природы.

Еще более яркий пример выдвижения на первый план тех, кто был в тени, дает история антропогенеза. Наши предки – австралопитеки были изгоями своего времени. Их сородичи, лучше приспособленные к жизни в тропическом лесу, вытеснили австралопитеков. Когда климат сделался более засушливым и площадь тропических лесов сократилась, нашим предкам пришлось встать на ноги, приспособиться к новым условиям жизни в саванне и... стать людьми.

Возникновение разума – это столь же загадочная перестройка процесса развития материального мира, как и возникновение жизни. Это тоже естественный и столь же масштабный этап его развития. Мозг человека и мозг животного, особенно высших млекопитающих, состоит из одних и тех же нейронов. Но, несмотря на это, наш мозг рождает способность познавать сам себя, видеть себя со стороны, познавать окружающий мир, задумываться о тайне своего происхождения.

Благодаря появлению разума возникает общество. Не общественные формы бытия – они существуют и у животных, а общество, совокупность индивидуумов, совокупность личностей, способных к совместному труду, к планомерной деятельности, к кооперации, к совместной духовной жизни.

История возникновения общества уже давно изучается антропологами и обществоведами. Однако эти исследования обычно проводятся вне связи с общими процессами мирового развития. Нам же необходимо встать именно на эту общесистемную точку зрения, ибо одна из задач этой книги – постараться увидеть включенность истории человека в историю биосферы.

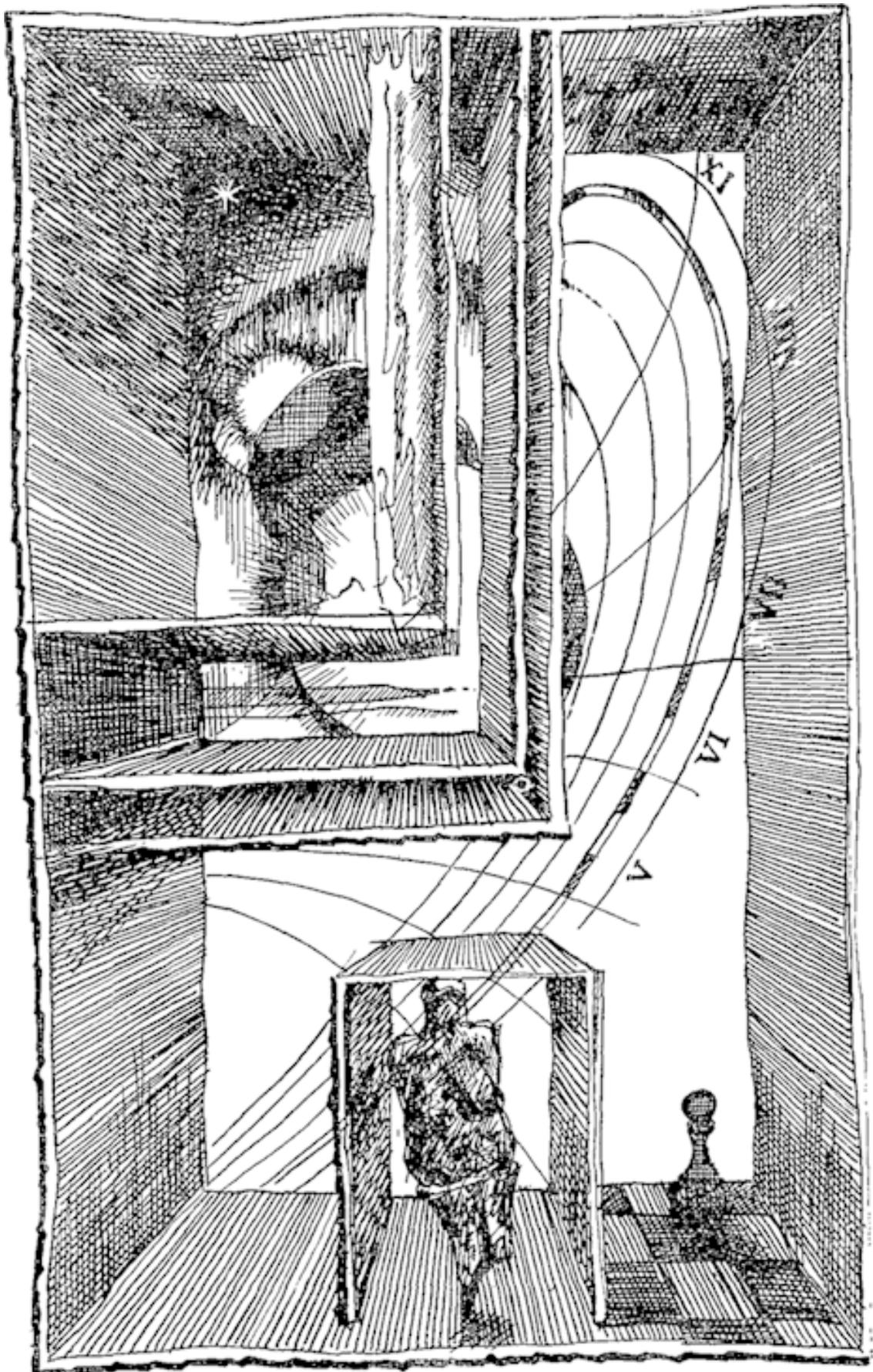
Развитие человеческого общества – это такой же естественный процесс, как формирование галактик или развитие вируса. Нам сегодня важно увидеть то общее, что объединяет все компоненты этого единого процесса, и то, что вносит и может внести Разум в мировой эволюционный процесс. В этом я вижу настоятельную необходимость, ибо убежден, что мировой эволюционный процесс находится сегодня на рубеже такой же коренной перестройки, какая произошла вместе с появлением на Земле жизни, а затем и Разума.

Я сделал набросок мирового эволюционного процесса. Если пользоваться современной терминологией, то в этой главе представлен эскиз единого процесса самоорганизации

(процесса синергизма), протекающего в нашей Вселенной и на Земле. В рамках этого единого процесса происходят и все современные явления, столь опасные для судеб нашего общества. Что является движущей силой этого единого течения мировой эволюции?

Оно происходит в берегах, которые называются законами, позволяющими, в частности, понять, что такое равновесие. Оно является следствием принципиальной неравновесности, царящей в нашем мире, и факторов, непрерывно разрушающих возникающие равновесные состояния. Теперь нам важно расшифровать хотя бы некоторые особенности тех механизмов, благодаря которым происходит эта самоорганизация. Понять роль и возможности Разума, целенаправленно использующего эти механизмы. К обсуждению этих вопросов мы сейчас и приступаем.

## Глава II. Механизмы эволюции



## ОСНОВЫ ЕДИНОГО ЯЗЫКА

За последние годы многое удалось понять в том, что можно назвать механизмами эволюции (или развития), как происходит изменение структуры (организации) материи, как и почему возникает новое качество, что является двигателем любого процесса самоорганизации. Становится все более понятным, что единый процесс мирового развития – это не игра случая. Он имеет определенную направленность – происходит непрерывное усложнение организации. Это результат взаимодействия объективной необходимости со столь же объективной стохастичностью нашей Вселенной. Реальность такова, что необходимость вовсе не исключает случайность, но определяет потенциальные возможности развития, которые согласовываются законами природы.

Единый процесс развития охватывает неживую природу, живое вещество и общество. Это три уровня организации материального мира – звенья одной цепи. Поэтому естественно попытаться описать здесь процесс развития на едином языке, в рамках единой схемы, с использованием общей терминологии. Такое связанное описание процессов развития резко упрощает саму технологию системного анализа всех биосферных процессов и процессов взаимодействия природы и общества.

Но дело не только в этом. Создание единого языка для описания единого процесса развития позволяет наглядно увидеть генетическую связь между его отдельными фрагментами. Однако, чтобы создать такой язык, необходимо прежде всего решить проблему ключевых понятий и расширения их смысла по мере расширения области использования языка описания.

В качестве таких ключевых слов, которые могут быть использованы для описания общих свойств основных механизмов развития и неживых материальных структур, и живого вещества, и организации общественной жизни, я предлагаю использовать «дарвиновскую триаду»: изменчивость, наследственность, отбор. Эти слова в моей интерпретации должны нести, разумеется, более широкий смысл, чем тот, который им придавался в эволюционной теории.

Условимся называть изменчивостью любые проявления стохастичности и неопределенности. Они составляют естественное содержание всех процессов микромира, но, конечно, имеют место и на макроуровне. Неопределенность и стохастичность – это объективная реальность нашего мира. Он так устроен, что изменчивость лежит в основе функционирования всех механизмов нашего мира, на любом уровне его организации.

Этот факт порождает многочисленные проблемы философского и специального научного характера. И далеко не всегда мы умеем их объяснить. Многие из причин, порождающих стохастичность и неопределенность, нам часто бывают неясны. И тем не менее изменчивость является фактом, одним из основных эмпирических обобщений, с которыми нам непрерывно приходится сталкиваться. И мы часто апеллируем к ней как к исходному понятию при объяснении явлений и процессов живой и неживой природы. Вместе с тем изменчивость – случайность и неопределенность – проявляется не сама по себе, а в контексте необходимости, то есть законов, управляющих движением материи и развитием ее организационных форм.

Классическим примером, показывающим, что стохастичность, как проявление изменчивости, соседствует с детерминистскими законами, является развитое турбулентное движение. В этом на первый взгляд абсолютно хаотическом движении жидкости всегда можно обнаружить своеобразную строгую упорядоченность. Оно подчиняется строгим физическим законам – законам сохранения в первую очередь, – в нем наблюдается стабильность

средних характеристик, существуют определенные формы организации (коэффициенты сопротивления, средние значения завихренности и т. д.).

Но объяснить возникновение турбулентности без обращения к случайности (случайным внешним воздействиям) невозможно. И по существу, все развитие нашего мира представимо некоторой моделью своеобразного турбулентнообразного движения. Таким образом, все наблюдаемое нами – это единство случайного и необходимого, стохастического и детерминированного.

И еще раз: мир так устроен, что случайность и неопределенность – это его объективные характеристики. Это эмпирический факт. Это необходимость, и с ней мы не можем не считаться. К ней должно привыкнуть наше мышление так же, как мы привыкли к теории относительности, уравнению Шредингера и другим «невероятностям» нашего современного мира, которые нам постоянно открывают физика и другие естественные науки.

Случайность и неопределенность понятия вовсе не тождественны. Они пронизывают все уровни организации материи. Процессы, протекающие в неживой материи (та же турбулентность, броуновское движение и т. д.), процессы биологические (типичный пример – мутагенез), социальные процессы (к примеру, конфликты) – все они подвержены действию случайностей, которые мы далеко не всегда можем проследить так, чтобы понять их источник, а тем более правильно учесть, делая анализ и прогнозируя события.

Но хотя глубинный смысл изменчивости часто бывает неясен, именно оно создает то «поле возможностей», из которого потом возникает многообразие организационных форм, наблюдаемых и изучаемых нами, особенно долгоживущих образований. Она же вместе с тем служит и причиной их разрушения. Такова диалектика самоорганизации (синергетики). Одни и те же факторы изменчивости стимулируют и созидание, и разрушение.

Не меньшую роль стохастичность и неопределенность играют в повседневной жизни людей, порождая, в частности, неоднозначность отображения реального мира в своем сознании, а значит, неопределенность в своем поведении и реакции на воздействия окружающего мира.

Второй важнейший фактор, определяющий процессы развития, – наследственность. Этим термином мы будем обозначать не только способность материи сохранять свои особенности, но и ее способность изменяться от прошлого к будущему, способность «будущего зависеть от прошлого».

Будущее, конечно, определяется прошлым далеко не однозначно, в силу той же стохастичности. В реальности такая однозначность представляется совершенно исключительным явлением. Поэтому факт наследственности означает лишь то, что понять возможности будущего нельзя без прошлого. (Может быть, отсюда и происходит тот живой интерес к истории, который присутствует практически у каждого человека.)

Иногда понятие наследственности отождествляется с понятием причинности. Но это разные понятия. Наследственность лишь одна из составляющих причинности, как, впрочем, и изменчивость. Только вся триада – изменчивость, наследственность, отбор – достаточно полно раскрывает смысл термина «причинность».

**Примечание.** Наследственность – это термин, отражающий влияние прошлого на будущее. И часто, не зная хорошо прошлого, мы относим многие наблюдаемые факты к числу случайных. Можно привести много примеров, иллюстрирующих это положение. Оно показывает, что в ряде случаев явления, которые мы относим к изменчивости, оказываются на самом деле следствием феноменов, имевших место в прошлом. Это обстоятельство имеет самостоятельный интерес и заслуживает специального исследования. Оно означает, в частности, что между понятиями «наследственность» и «изменчивость» не всегда можно провести

четкую разграничительную линию. Все это имеет глубокую связь с принципиальной неустойчивостью тех процессов, с которыми нас сводит Природа.

Третье, и, пожалуй, самое трудное, понятие дарвиновской триады – отбор. Биологи трактуют его соответственно своей дисциплине, в результате чего стала обычной такая его интерпретация: выживает сильнейший, наиболее приспособившийся, то есть выживает тот, кто выжил! Внутривидовой отбор потому и называется отбором, что он отбирает те признаки, те особенности, которые, возникнув в результате действия случайных факторов (мутаций), затем передаются в будущее за счет действия механизма наследственности.

Конечно, подобная трактовка механизма естественного отбора крайне упрощенна, это лишь его скелет. Но она выражает тот образ мышления, которому мы обязаны достижениями современного эволюционного процесса.

Мне, представителю «точного естествознания», пытающемуся воссоздать образ единства мирового эволюционного процесса, недостаточно подобных интерпретаций фундаментального термина «отбор». Мне необходима его более широкая трактовка, позволяющая распространить понятие отбора на объекты неживой природы с одной стороны, и процессы, протекающие в обществе, – с другой. Но прежде чем этим заняться, вернемся еще раз к понятию изменчивости.

Не так давно было открыто и изучено явление, получившее название «странный аттрактор». Оказалось, что траектории многих детерминированных динамических систем могут полностью заполнять некоторый фазовый объем: в любой окрестности любой точки этого объема всегда будут находиться точки, принадлежащие траектории одной и той же системы, порожденные одним и тем же начальным состоянием. Более того, этот объем будет притягивать и остальные траектории системы.

Движения таких систем характеризуются высшей степенью неустойчивости: две любые сколь угодно близкие точки будут порождать совершенно различные траектории. Такие особенности движения были названы в математике некорректностями. Французский математик Ж. Адамар считал, что в «правильных физических теориях» всегда должна иметь место корректность: малым причинам должны отвечать малые следствия. Если задача оказывается некорректной, то она согласно Адамару была неправильно поставлена.

Этот принцип Адамара, который долгое время играл важную роль в математической физике, теперь приходится пересматривать. Процессов, которым свойственна «некорректность», в природе гораздо больше, чем это было принято думать еще несколько десятилетий тому назад. Траектории подобных систем, в частности систем, обладающих «странным аттрактором», несмотря на то, что они порождаются (описываются) вполне детерминированными уравнениями, подобны траекториям, порождаемым случайным процессом. Они не только хаотичны, но и из. – за сильной неустойчивости их развитие невозможно прогнозировать: любая сколь угодно малая неустойчивость в вычислениях, а они неизбежны при работе электронных вычислительных машин, ведет к совершенно неправильным результатам. В связи с этими свойствами «странного аттрактора» и из-за аналогичных «неустойчивостей» невольно возникает целый ряд вопросов. Вот, может быть, главные из них.

Если явление «странного аттрактора» или ему подобные – типичные явления природы, то не заставляет ли оно нас увидеть стохастичность макромира в совершенно ином свете? Может быть, для ее объяснения нет необходимости использовать соображения, связанные со стохастичностью микромира?

В самом деле, ведь процессы, порождающие «странный аттрактор» (или аналогичные явления «универсальности», по Фойгенбауму), приводят к поведению систем, неотличимых от случайных процессов. А ведь они возникают «сами по себе» в системах вполне детерминированных, не подверженных каким-либо случайным возмущениям!

И далее. Может быть, принципиальные «некорректности» и неустойчивости, порождающие хаос и неупорядоченность, – это естественное состояние материи, ее движения, на фоне которого время от времени лишь как исключительные явления возникают более или менее устойчивые образования? Может быть, только эти образования мы и способны видеть и изучать, а все остальное происходит без свидетелей, и мы способны регистрировать лишь финальные события? Если встать на эту точку зрения, то, возможно, имеет смысл назвать принципами отбора те причины, которые в нашем «некорректном» мире приводят к существованию более или менее устойчивые образования, которые мы только и можем фиксировать в наших наблюдениях?

Перечисленные вопросы относятся к числу очень непростых. И на них у меня нет удовлетворительных ответов. Все они тесно связаны с другими, еще более глубокими вопросами: что такое в действительности законы природы?

В одной из моих книг (см.: Моисеев Н. Н. Человек, среда, общество. М., 1982, с. 19–20) я говорил о них как о некоторых моделях, отражающих те или иные черты реальности с той точностью, с которой мы сегодня способны их представить или воспроизвести. Мы видим и реагируем на происходящее. Наш опыт показывает, что кажущийся хаос случайностей рождает нечто определенное и закономерное. Вот почему законами природы мы не можем назвать что-либо иное, кроме тех связей между явлениями природы (и событиями), которые мы можем установить эмпирически или средствами логического мышления. Только эти связи мы можем отождествить с теми правилами, которые действуют в нашем мире и определяют его процессы самоорганизации.

Конечно, подобное представление о законах природы может быть уточнено и расширено, но для целей данной книги нам его будет достаточно. Попробуем интерпретировать сказанное, обратившись к концепциям физики и механики, возникшим еще в XVIII веке.

В механике со времен Мопертюи и Лагранжа принято говорить о «виртуальных движениях» или множествах «возможных продолжений», понимая под этим любые «возможные движения», согласные со связями, но необязательно удовлетворяющие законам физики. (Для того чтобы подчеркнуть трудности точного определения и условность языка, обратим внимание на то, что согласие со связями – это тоже закон природы.) Эти «виртуальные движения» могут порождаться любыми произвольными, в том числе «случайными», причинами. Значит, уже в XVIII веке было понятно, что изменчивость (и, в частном случае, стохастичность) предоставляет природе целое «поле возможностей», из которых отбирается, реализуется лишь некоторая исключительная совокупность, удовлетворяющая некоторым специальным условиям (принципам отбора).

Подчеркнем, что в такой трактовке проявляется прямая аналогия с тем понятием отбора, которое используется в биологии. Отбор, следуя своим объективным законам, совершает Природа, а Разум лишь фиксирует этот факт, отражая с той или иной степенью точности ту реальность, которая и «есть на самом деле». В XVIII веке этот факт сделался достоянием механики: было установлено, что реальные движения отбираются из множества виртуальных с помощью законов Ньютона, которые и являются простейшими принципами отбора.

Сегодня мы способны гораздо глубже и шире представить себе среду любых динамических систем и связь между виртуальными и реальными движениями. Из всего множества возможных (мыслимых) движений в реальность «пропускаются» лишь некоторые, исключительные.

Набор фильтров, которые это совершают, то есть принципов отбора, очень велик. И законы Ньютона только одни из них. Внутривидовая борьба, порождающая отбор в живом мире, которую Ч. Дарвин назвал естественным отбором, – другой подобный фильтр. Принципами отбора являются все законы сохранения, законы физики и химии, в частности. К числу принципов отбора относится, конечно, и второй закон термодинамики, невыводи-

мый из законов сохранения. В экономике, например, принципами отбора являются условия баланса и т. д.

Мне кажется, что особую роль в мировом эволюционном процессе играет «принцип минимума диссипации энергии». Сформулирую его следующим образом: если допустимо не единственное состояние системы (процесса), а целая совокупность состояний, согласных с законами сохранения и связями, наложенными на систему (процесс), то реализуется то состояние, которому отвечает минимальное рассеивание энергии, или, что то же самое, минимальный рост энтропии.

Этот принцип следует рассматривать в качестве некоторого «эмпирического обобщения». По своей формулировке он похож на принцип минимума потенциала рассеяния Л. Онсагера и принцип минимума производства энтропии И. Пригожина, которые были сформулированы для проблем неравновесной термодинамики.

**Примечание.** Принципы Онсагера и Пригожина – это вариационные принципы, справедливые для определенных и достаточно узких классов неравновесных процессов, которые Онсагер назвал линейными из-за аддитивности химических потенциалов. Из этих принципов можно вывести уравнения движения, траектории которых являются экстремалиями, и обратно – они сами являются следствием этих уравнений. В отличие от них (и других вариационных принципов физики) сформулированный выше принцип минимума диссипации энергии не является строго обоснованным и вряд ли может быть строго обоснован в традиционном смысле этого слова. Вот почему я его и отнес к категории «эмпирических обобщений», тем более что примеров, ему противоречащих, я не знаю.

Я думаю, что принцип минимума диссипации энергии есть всего лишь очень частный случай значительно более общего принципа «экономии энтропии». В природе все время возникают структуры, в которых энтропия не только не растет, но и локально уменьшается. Этим свойством обладают многие открытые системы, в том числе и живые, где за счет притока извне вещества и энергии возникают более или менее стабильные состояния – «квазиравновесные структуры». С точки зрения классической термодинамики эти образования не являются равновесными – равновесие здесь лишь понимается в смысле стационарности.

Мне представляется справедливой (может быть, лучше сказать – правдоподобной) следующая гипотеза. Если в данных конкретных условиях возможны несколько типов организации материи, согласующихся с другими принципами отбора, то реализуется та структура, которой отвечает минимальный рост (или максимальное убывание) энтропии. Поскольку убывание энтропии возможно только за счет поглощения внешней энергии и (или) вещества, реализуются те из мысленно возможных (виртуальных) форм организации, которые способны в максимальной степени поглощать внешнюю энергию (или вещество). Этот принцип отбора я буду называть «обобщенным принципом диссипации». Позднее я внесу в формулировку этой гипотезы еще ряд уточнений.

## **Некоторые общие свойства механизмов эволюции**

Сегодня термин «механизм» стал употребляться довольно широко. Не только в технике, где он возник, но и в биологии (генетический (механизм, например), в экономике (рыночный механизм, механизм ценообразования и т. д.), в социальной и политической сферах... Произнося слово «механизм», мы имеем в виду некоторую совокупность логических связей, процедур, определяющих возникновение изменений в той или иной развивающейся (эволюционирующей) системе.

В предыдущем параграфе я сделал попытку объяснить, что любой механизм в своей основе имеет три фактора – изменчивость, наследственность, отбор. Если достаточно широко понимать эти основные ключевые слова, то можно выработать весьма гибкие средства для описания различных механизмов самоорганизации материи – средства, позволяющие увидеть то общее состояние, которое присуще любым процессам развития, в том числе и общественным.

Следующим шагом было бы естественно попытаться построить классификацию этих механизмов и рассмотреть их с единых позиций. В практическом отношении это напоминало бы попытку Ампера дать классификацию наук. Несмотря на принципиальную важность такой проблемы, для ее решения, как мне кажется, еще не настало время. Поэтому я сужаю свою задачу и постараюсь выделить лишь два класса механизмов эволюции, играющих важнейшую роль в явлениях самой различной физической природы.

К первому классу я отнесу «адаптационные» механизмы. Это, конечно, прежде всего дарвиновские механизмы естественного отбора. Но подобные механизмы действуют и в физических, и в химических процессах, используются и в технике, и в общественной сфере. Принятое название весьма условное и требует разъяснений, ибо, произнося слово «адаптация», надо сказать о приспособлении, к чему идет речь. При изменении условий та логическая цепочка (или система процедур, или процесс), которая приспособляла данную систему (организм в том числе), может уже перестать быть механизмом «адаптационного типа».

Основная особенность «адаптационных» механизмов состоит в том, что они позволяют нам в принципе предвидеть (с определенной точностью, конечно) результаты действия механизма, то есть развитие событий. А значит, и прогнозировать эти события. Это происходит потому, что адаптация, то есть самонастройка, обеспечивает развивающейся системе определенную стабильность в данных конкретных условиях внешней среды. Значит, изучая эти условия, особенности среды, мы можем предвидеть (предсказать) тенденции в изменении параметров системы, которые будут происходить под действием этих механизмов.

Другими словами, мы оказываемся способными заранее более или менее точно определить множество состояний (совокупность параметров, которые будут обеспечивать ее устойчивость при данных условиях внешней среды). Этими обстоятельствами уже давно пользуются селекционеры, формируя отбор надлежащим образом. В физике и технике механизмы самоорганизации, использующие к тому же принцип обратной связи (об этом мы еще будем говорить специально), давно и широко используются для обеспечения адаптации. Соответствующая теория позволяет при наличии надлежащей информации об окружающей среде с большой уверенностью предсказывать результаты их действий.

Наверное, можно сказать и так: адаптационные механизмы обладают тем замечательным свойством, что ни внешние возмущения, ни внутренние пертурбации с помощью этих механизмов не способны вывести систему за пределы того «обозримого канала эволюции», того коридора, который заготовила природа для развития этой системы. Под действием механизмов адаптационного типа границы этого коридора, очерченные объективными законами нашего мира, более или менее близки друг к другу и достаточно обозримы в перспективе. Следовательно, путь развития в этом случае предсказуем со значительной точностью.

Но существует и другой тип механизмов эволюции. Он имеет уже совершенно иную природу, хотя, как мы увидим ниже, и для него дарвиновская триада полностью сохраняет свой смысл. Для иллюстрации этого типа механизмов обсудим некоторые особенности течения жидкости в трубе, пример, к которому я еще не раз буду обращаться.

Пока расход жидкости мал, ее течение носит ламинарный характер, оно следует закону Пуазейля: частицы жидкости движутся параллельно оси трубы, а эпюра их скоростей имеет параболический характер. Чтобы протолкнуть этот расход жидкости через трубу, требу-

ется определенное усилие. Оно определяется разностью давлений, приложенных в различных сечениях трубы. С ростом расхода эта разность до поры до времени будет расти по линейному закону, а эпюра скоростей жидких частиц будет сохранять свою параболическую форму.

Но достаточно потоку превзойти некоторый критический порог, как характер течения жидкости качественно изменится. Ламинарное течение перестраивается, оно превращается в турбулентное. Разность давлений при этом начинает быстро расти.

Иными словами, существует некоторое критическое значение внешнего воздействия, определяемое величиной расхода жидкости. Выше этого значения прежняя, ламинарная, форма движения жидкости существовать уже не может, старая организация системы разрушается. Вместо ламинарного движения жидкости возникает турбулентное.

Этот пример показывает, что физические системы обладают пороговыми состояниями, переход через которые ведет к резкому, качественному изменению протекающих в них процессов – к изменению их организации. И очень важно зафиксировать следующее положение: переход системы в новое состояние в этой пороговой ситуации неоднозначен, так же как и характер ее новой организации, то есть после бифуркации существует целое множество возможных структур, в рамках которых в дальнейшем будет развиваться система, И предсказать заранее, какая из этих структур реализуется, нельзя. Нельзя в принципе, ибо это зависит от тех неизбежно присутствующих случайных воздействий – флуктуации внешней среды, – которые в момент перехода через пороговое состояние и будут определять отбор.

Эта особенность пороговых (бифуркационных или катастрофических) механизмов играет совершенно особую роль в развитии нашего мира.

Поясним ее еще на одном примере.

Предположим, что мы взяли палку за два конца и начали ее изгибать. По мере увеличения силы, которую мы прикладываем, палка будет все больше и больше изгибаться. До поры до времени она будет все же оставаться палкой. Но в какой-то момент сломается и перестанет быть палкой. Точно предсказать, в каком месте сломается и на сколько частей, заранее мы не можем.

Вот эта неопределенность будущего и есть главная особенность рассматриваемого типа механизмов. Она есть следствие того, что будущее состояние системы при переходе ее характеристик через пороговое значение определяется прежде всего случайностью – флуктуациями.

А они присутствуют всегда! Важно сказать, что при переходе через бифуркационное состояние система как бы забывает (или почти забывает) свое прошлое. В этой точке происходит как бы разветвление путей эволюции. И в силу вероятностного характера перехода через это пороговое состояние обратного хода эволюции уже нет (точнее сказать, вероятность подобного события равна нулю)! Время, как и эволюция, приобретет направленность, необратимость!

Объясняя особенности пороговых механизмов, я привел два примера процессов, происходящих в мире неживой материи. Но пороговые механизмы свойственны и процессам, протекающим в мире живой природы и общества. Но там их проявление, значительно сложнее. Вот почему, выбирая иллюстративные примеры, характеризующие пороговые механизмы, я следовал известному высказыванию В. И. Вернадского: «... вполне позволительно и удобно воспользоваться здесь (то есть в биологии. – *Н. М.*) аналогией между живым веществом и газовой массой».

Факт существования механизмов бифуркационного /типа заставляет вносить известные коррективы и в общую картину эволюции жизни на Земле и реабилитировать, в известной степени, теорию катастроф Кювье. Не только дарвиновское постепенное совершенствование видов определило процесс развития, но и быстрые перестройки. Поскольку и

адаптированные и бифуркационные алгоритмы являются типичными классами механизмов, реализующих самоорганизацию вещества, то нет никаких логических оснований исключать какие-либо универсальные механизмы из числа тех, что определяют эволюцию также и живого мира. Кажется, что эти общие соображения, основанные на представлениях о единстве процессов развития, находят подтверждение в наблюдениях естествоиспытателей.

В самом деле, как уже сейчас установлено геологами и палеонтологами, на Земле более или менее регулярно возникало повышение фоновой радиации (возможно, что это связано с прохождением Солнца через соответствующие зоны Космоса). В результате резко интенсифицировался мутагенез и менялись условия жизни на Земле. Это, в свою очередь, стимулировало быстрое вымирание старых видов и появление новых. Поэтому вопрос: Дарвин или Кювье – мне кажется неправомерным. Не *или*, а *и* Катастрофические состояния биосферы, порождавшие бифуркации, были столь же естественными элементами эволюционного процесса, как и адаптация и внутривидовая борьба. Таким образом, изучение общей логики развития нас неизбежно наводит на соображения вполне конкретного характера.

Рассуждения о механизмах, которые были приведены выше, конечно, достаточно условны и схематичны. Реальные процессы развития – это всегда целая гамма различных механизмов (о некоторых из них я еще буду говорить). Тем не менее приведенные соображения достаточно наглядны и позволяют дать разнообразные интерпретации единого процесса развития.

Законы физики, химии и другие принципы отбора устанавливают определенные границы изменения состояний системы, определяют, так сказать, «каналы», внутри которых и могут протекать эволюционные процессы. В свою очередь, множество случайных факторов вне времени как бы пытаются вывести систему за эти «границы». Но до поры до времени этого не происходит – поток внутри «канала» следует механизму адаптационного типа. Границы адаптации («берега канала») эволюционного развития могут быть рассчитаны с большой степенью точности, если мы хорошо знаем принципы отбора, то есть законы развития.

Но вот однажды в силу тех или иных причин эволюционный поток выходит на «площадь» – пересечение нескольких каналов эволюции. И теперь вступают в действие механизмы, которые, следуя терминологии А. Пуанкаре, мы назвали бифуркационными. На перекрестке каналов возникает бифуркация (или катастрофа, если использовать язык Уитни и Тома). Характер развития качественно меняется. Но самое главное – возникает несколько вариантов дальнейшего развития эволюционного процесса. И этих вариантов столько, сколько каналов эволюции выходит на их перекресток. И выбор нового канала неопределенен – какова будет новая организация системы, предсказать невозможно!

Невозможно в принципе, ибо этот выбор зависит (окончательно определяется) от тех случайных факторов, которые неизбежно присутствуют в момент выхода системы на перекресток каналов эволюции. Они в этот момент являются фактором, определяющим последующее развитие. В этом одна из важнейших особенностей бифуркации, определяющая ее непредсказуемость.

Разложенная интерпретация характера эволюции делает наглядным один из общих законов самоорганизации материи: процесс развития характеризуется непрерывным усложнением и ростом разнообразия организационных форм материи. Он носит название закона *дивергенции* и является справедливым в равной степени на всех трех этапах развития материального мира – в мире неживой материи, в эволюции живых веществ и в обществе. Я о нем уже упоминал (в биологии этот закон часто называют законом цефализации). Теперь хочу показать, что он является прямым следствием «работы» механизмов бифуркационного типа.

Законы природы ограничивают множество возможных (виртуальных) состояний материальных систем и форм их организации, которые я условно назвал «каналами эволюции». Подчас берега этих каналов оказываются очень близкими – поддержание большинства хими-

ческих реакций или сохранение гомеостазиса некоего вида возможно только в узком диапазоне параметров внешней среды. Тем не менее стохастический характер причинности и действие бифуркационных механизмов может развести сколь угодно далеко даже самые близкие, практически тождественные формы организации.

Этот факт один из основных источников неустойчивостей, которые мы непрерывно наблюдаем в окружающем нас мире. Его легко интерпретировать на хорошо известном опытном материале.

Предположим, что две одинаковые круглые колонны находятся под действием одинаковых, все возрастающих вертикальных нагрузок. Кроме того, на эти колонны непрерывно действуют порывы ветра. Поскольку механические свойства колонн одинаковы и вертикальная нагрузка одинакова, то они в один и тот же момент достигнут своего порога устойчивости, и согласно теории Л. Эйлера у них одновременно произойдет бифуркация: вертикальная форма равновесия потеряет устойчивость, и вместо нее возникнет континуум новых форм равновесия – поверхность вращения полуволны синусоиды.

Однако поскольку порывы ветра никогда не бывают строго идентичными, то после бифуркации новые формы равновесия обеих колонн будут разными. Это означает, что в новых условиях колебания колонн будут происходить в разных каналах эволюции, в данном случае в разных плоскостях. Вероятность же того, что при новой бифуркации равновесные положения колонн совпадут, равна нулю, так как форм равновесия бесчисленное множество.

С увеличением размерности системы, что всегда происходит при увеличении ее сложности, количество состояний, в которых могут происходить катастрофы (бифуркации), быстро возрастает. Следовательно, с ростом сложности системы растет и вероятность увеличения числа возможных путей дальнейшего развития, то есть дивергенции, а вероятность появления двух развивающихся систем в одном и том же канале эволюции практически равна нулю. Это и означает, что процесс самоорганизации ведет к непрерывному росту числа организационных форм.

**Примечание.** Среди биологов существуют и сторонники другой точки зрения, отвергающие дивергенцию. Например, последователи академика Л. С. Берга утверждали возможность конвергенции, то есть схождения форм. Дискуссии о конвергенции и дивергенции продолжаются в той или иной форме и по сей день не только среди биологов, но и обществоведов. Мне кажется, что существование механизмов бифуркационного типа и установление роли флуктуации в любых процессах развития в известной степени закрывают эту дискуссию: ведь появление идентичных форм практически всегда равно нулю. Кстати, конвергенцию не следует путать со сходством отдельных особенностей (признаков) в организации тех или иных систем, функционирующих в идентичных условиях. Например, морские млекопитающие могут иметь рыбообразную форму; адаптация к внешним условиям порождает гомологические ряды Н. И. Вавилова; структура советских предприятий может конвергировать структуру соответствующих американских предприятий и т. д.

## **Редукционизм и механизмы «сборки»**

Редукционизм в любых дисциплинах означает попытку объяснения того или иного феномена, наблюдаемого на том или ином уровне организации материи, свойствами более простых явлений или наблюдаемых на «более низком» уровне организаций.

Другими словами, редукционизм – это стремление свести объяснение сложного через более простое. Поэтому редукционизм – это есть некоторый своеобразный метод мышле-

ния. Он тоже представляет собой феномен и как таковой заслуживает самого пристального внимания и исследования. По существу, редукционизм пронизывает все науки, в разной степени, но все. Это именно образ мышления – специфическое явление интеллектуальной жизни людей.

Эта особенность мышления возникла, вероятно, в процессе эволюции, однако она прививается человеку и в процессе обучения. Редукционизм и «объяснение на пальцах» – это, по существу, одно и то же.

Физики, построившие грандиозное здание модельных конструкций, по своей природе и методам анализа являются в своем подавляющем большинстве редукционистами. Наиболее яркий и простой пример редукционистского мышления нам дает создание кинетической теории газов и современной термодинамики. Именно в его рамках удастся понять, что означают общие характеристики движения газа или жидкости, такие, как температура, давление, скорости движения газа, энтропия и т. д., как они связаны с общим характером движения молекул, особенностями их соударений, их энтропией и т. п.

Подобные факты – это не просто важнейшие достижения физики, но и наглядная иллюстрация успехов редукционистского образа мышления. Он породил и своеобразные методы анализа, позволяющие связывать надежными логическими переходами различные этажи того здания моделей, которое выстраивается физикой.

Среди редукционистского инструментария особое место занимают разнообразные асимптотические теории, придающие фундаментальность и архитектурную цельность зданию современной физики. Блестящей иллюстрацией тех возможностей, которыми обладают эти методы, является вывод уравнений движения вязкого газа (уравнения Навье – Стокса) из уравнений, которые описывают движение соударяющихся молекул (уравнения Больцмана). Этот переход от уровня микроописания динамики молекул к макроописанию движения газа требует всего лишь двух предположений – о малости свободного пробега молекул и о максвелловском законе распределения их скоростей.

В первой половине XIX века модель движения газа носила феноменологический характер – она отражала представления естествоиспытателей, их наблюдения и опыт. Теперь эта модель сделалась следствием другой феноменологической модели более глубокого уровня – модели свободного движения молекул, из которой, преодолевая те или иные математические, в конечном счете технические, трудности, выводимы все свойства движения газа.

Таким образом, редукционизм как способ сведения сложного к анализу явлений более простых является мощнейшим средством исследования. Он позволяет изучить сложнейшие явления самой различной физической природы. Однако было бы большой ошибкой думать, что этот способ познания носит универсальный характер и любые сложные явления могут быть познаны с помощью их расчленения на отдельные частные исследования их отдельных составляющих.

Тем не менее «идеология редукционизма» столь глубоко пронизала все физическое мышление, что, по-видимому, подавляющее большинство физиков глубоко убеждены, что все свойства макроуровня уже закодированы в моделях микроуровня.

Другими словами: если в распоряжении исследователя имеется достаточно «хорошая» модель, то есть та «дель», достаточно полно описывающая свойства микроуровня (свойства элементов системы), то определение всех свойств самой макросистемы ничего неожиданного для нас не содержит. Надо лишь для их изучения преодолеть определенные «технические трудности», но принципиально они выводимы из свойств элементов микроуровня подобно тому, как это делается в кинетической теории газов или гидродинамике вязкой жидкости.

Редукционизм порождает в физике целый ряд важнейших исследовательских программ. Одна из них, может быть, самая важная в современной теоретической физике, спо-

собная открыть совершенно новые горизонты познания, посвящена единой теории поля и включения гравитации в общую систему взаимодействий.

К числу подобных программ относятся и исследования И. Пригожина и его школы, посвященные проблеме объединения необратимости времени (проблема «стрелы времени»).

Необратимость времени, совершенно особая роль временной координаты по сравнению с пространственными координатами – это экспериментальный факт, который мы фиксируем на макроуровне. Но возникает естественный вопрос: является ли необратимость времени особым свойством макроуровня или она оказывается следствием свойств микроуровня нашего мира, то есть того уровня, который описывает, например, квантовая механика? Этот вопрос важнейший: он затрагивает самые глубинные слои нашего познания.

Я думаю, что в такой прямой постановке этот вопрос должен иметь, по-видимому, отрицательный ответ. Дело в том, что основное уравнение квантовой механики – уравнение Шредингера – инвариантно относительно направления времени, и, по-видимому, у нас нет серьезных оснований сомневаться в его справедливости: его справедливость подтверждает огромный экспериментальный материал. Противоречивость наблюдаемого на макроуровне и свойств микроуровня может быть разрешена, по-видимому, двумя способами, в основе которых лежат две совершенно разные идеи.

Одна из них – это предположение, что уравнение Шредингера все-таки не совсем точно отражает реальность и в нем должны присутствовать слагаемые, которые не инвариантны относительно замены знака времени.

По этому пути, по существу, идут Пригожий и его последователи. Но могут быть предложены и другие идеи. Об одной из них я расскажу позднее.

Небезынтересна судьба редукционизма в биологии. В прошлом веке, в особенности в его начале, казалось аксиомой утверждение о некоей жизненной силе, присущей всему живому, о невозможности объяснить процессы, протекающие в живом веществе, только одними законами физики и химии. Это течение мысли получило название витализма. Однако оно довольно быстро стало размываться. Многие факты начали получать свое относительно простое объяснение, например, явлением наследственности, и они не требовали привлечения, казалось бы, потусторонних соображений о существовании некоей жизненной силы. Поэтому влияние редукционизма весьма глубоко проникло и в различные области естествознания.

Бертран Рассел, кажется, сказал однажды, что, как это ни удивительно, но все свойства живого вещества можно будет предсказать однажды, ибо они однозначно определяются особенностями электронных оболочек атомов, в него входящих.

Конечно, такая точка зрения весьма упрощена, если угодно, рафинирована. Но ей трудно отказать в привлекательности, и, что, может быть, еще важнее, она дает указание о направлениях возможных исследований. И в той или иной степени ей следуют многочисленные работы выдающихся ученых. Уже упомянутые мной работы М. Эйгена, посвященные изучению эволюции биологических макромолекул, относятся к числу тех исследований, в которых делается попытка объяснить процессы, протекающие в живом организме, законами физики и химии.

Вместе с тем найдется не так много биологов, которые готовы принять безоговорочно основной постулат редукционизма, смысл которого состоит в том, что никаких неожиданностей, никаких новых свойств макроуровня, не выводимых из свойств микроуровня, не существует. Другими словами, свойства системы однозначно определяются свойствами ее элементов и структурой их связей. Если этот процесс в таком крайнем виде неприемлем для биолога, то он тем более не может быть принят науками об обществе.

Я думаю, что существует некоторая общая проблема, актуальная для любых уровней организации материи. Я ее называю «проблемой сборки», или, может быть, точнее, «проблемой механизмов сборки». При объединении элементов, то есть при переходе к макроуровню, происходит образование новой структуры, обладающей своими специфическими качествами.

Кое-что об этих алгоритмах сборки мы уже знаем. Один такой пример нам дает изучение движения того же вязкого газа, о чем мы только что говорили. Если мы знаем механизм соударения молекул и если газ достаточно плотный, то есть если длина свободного пробега молекул достаточно мала, то мы, в принципе, владеем алгоритмом сборки: мы можем определить температуру, плотность, давление и другие характеристики системы «движущийся газ», которые не имеют смысла для произвольной совокупности молекул. Приведенный пример относительно прост, ибо мы знаем, как получаются общие свойства системы из свойств ее элементов.

Более сложный пример, хотя тоже еще относительно простой, нам дает кристаллография. Кристаллизация вещества – это один из примеров «сборки системы». В конце прошлого века Е. С. Федоров установил так называемый закон Федорова. Ему удалось перечислить все возможные формы (286) кристаллических структур. Оказалось, что, какое бы ни было вещество, способное к кристаллизации, будь то поваренная соль или алмаз, оно может принять лишь одну из перечисленных возможных форм.

Этот пример – тоже относительно простая иллюстрация возможных алгоритмов сборки, поскольку форма равновесия кристалла является в конечном счете следствием закона минимума потенциальной энергии. Однако здесь уже есть одна принципиальная трудность. Далеко не всегда мы можем предсказать финальное состояние процесса сборки. Как и в случае механизмов бифуркационного типа, оно определяется не только внешними условиями, но и неконтролируемыми случайными флуктуациями и внешними воздействиями.

Эти и многие подобные примеры действительно просты, ибо свойства системы могут быть установлены заранее – они определяются известными законами физики и химии (с учетом случайных флуктуации, конечно).

Но такие примеры, как правило, счастливые исключения. Проблема сборки, то есть определение свойств системы на основе информации о свойствах ее элементов, не только труднейшая, но она только начинает осознаваться как одна из самых актуальных и самых универсальных проблем современной науки. Известных успехов достигли специалисты в области создания новых полимеров. Им действительно удается порой создавать искусственные материалы, обладающие заранее заданными свойствами. Однако их достижения в большей степени обязаны накопленному опыту и интуиции инженеров и химиков, нежели строгим выводам науки.

Проблемами сборки на молекулярном уровне занимается квантовая химия. Однако ее успехи пока еще очень ограничены, и многие экспериментальные факты, нам всем известные, продолжают оставаться глубокой тайной. Так, например, мы очень много знаем о свойствах кислорода и водорода и, конечно, знаем, что их соединение – вода – будет образовывать систему, молекула которой состоит из двух атомов водорода и одного атома кислорода. Но мы совершенно беспомощны в объяснении свойств этой системы. Почему, например, плотность воды до поры до времени, как и у других веществ, растет вместе с падением температуры? Но ниже 4 градусов Цельсия она падает. В чем секрет такой аномалии? Можно ли сборку этой системы, называемую водой, полностью объяснить известными нам законами физики и химии и редуцировать изучение свойств воды к изучению атомарного уровня ее компонентов?

На подобный вопрос у нас пока нет ответа. И такие безответные вопросы нас встречают всюду. Можно ли было, например, предсказать свойства высокотемпературной сверхпроводимости у таких диэлектриков, как металлокерамика? Вот почему, когда я прочел последнюю книгу Пригожина, посвященную проблемам необратимости времени, мне показалась не очень оправданной его попытка редуцировать проблему «стрелы времени» к изучению тех уточнений, которые следует, может быть, внести в основное уравнение квантовой механики. Мне кажется вполне допустимой мысль о том, что на квантово-механическом уровне нет «стрелы времени». Там царствует обратимость, и замена знака временной координаты на обратный ничего не изменяет в характере процессов, протекающих на этом уровне, а наблюдаемая потеря временной симметрии на макроуровне – это всего лишь следствие особенностей механизмов сборки.

И для этого, как мне кажется, существуют определенные основания. В самом деле, мы видим, что для объяснения необратимости процесса эволюции на макроуровне достаточно факта стохастичности и существования механизмов бифуркационного типа. И оно не требует редукции к законам микромира. Кроме того, процесс перехода от микроуровня к макроуровню, то есть процесс сборки, так же как и другие процессы, проходящие во Вселенной, реализуется в условиях недетерминированных и подверженных бифуркациям.

Вот почему мне представляется непротиворечивой возможность сочетания временной асимметрии макроуровня с временной симметрией микроуровня.

Если процессы сборки и изучение тех или иных свойств системы зависят от свойств ее элементов и представляются столь сложными в мире неживой природы, то можно себе представить, сколь глубоки они в мире живого вещества и тем более в обществе! Рассматривая объединение отдельных элементов в систему, мы сталкиваемся с необходимостью рассматривать его как некоторый процесс, учитывающий его историю, то есть стохастичность, неопределенность и наследственность.

Очень интересные данные нам дает этология – наука о поведении животных, особенно стадных. Стадо, например, северных оленей (карибу) начинает обладать присущим ему свойством лишь в том случае, если оно достигнет определенной численности. Несколько отдельных оленей, даже если они находятся вместе, не проявляют тех свойств совместного поведения, которые свойственны большому стаду.

При его формировании большую роль играет наследственность, точнее, своеобразная память, о которой я буду говорить в одном из следующих разделов. Но, во всяком случае, если в стадо диких оленей попадают домашние олени, то их поведение всегда несколько отлично от стандартного, и они, например, в первую очередь оказываются добычей волков.

Таким образом, чтобы изучить поведение стада, его свойства как некоторой системы, а стадо является системой, совершенно недостаточно знать особенности отдельных животных. Механизм сборки – это в данной ситуации особый процесс, требующий изучения неизмеримо большего, чем изучение поведения отдельных животных. Во всяком случае, этот процесс порождает определенное кооперативное поведение, обеспечивающее в известном смысле «оптимальное» функционирование системы. В подобных ситуациях говорить о редукционизме просто не имеет смысла.

Но это утверждение вовсе не означает признание витализма или какой-либо из его разновидностей. Просто в процессе «сборки» возникают новые системные свойства, не выводимые из свойств объектов более низкого уровня.

Я уже произнес одно выражение – «кооперативное поведение». Оно, конечно, имеет смысл лишь тогда, когда речь идет об объектах, для которых можно говорить о «целеполагании», например, для живых существ, стремящихся сохранить свой гомеостазис. Кооперативность поведения, которой будут посвящены несколько разделов этой книги (если ее рассматривать с позиций механизмов сборки), есть лишь специальный случай возникновения общих

для системы свойств. Но при переходе к изучению общесистемных характеристик человеческого общества именно это свойство коллективов и любых организаций нашего общества приобретает важнейшее значение. А в проблемах коэволюции биосферы и человека – решающее!

Я уже говорил, что развитие нашего мира на всех его уровнях представляется в форме некоторого процесса непрерывного возникновения (и разрушения) новых систем, новых организационных структур. И механизмы сборки, определяющие процессы становления этих систем, их возникновение как синтез, объединение более просто организованных систем, элементов, возникновение новых свойств, нового качества, являются стержнем всего мирового процесса развития.

Несмотря на их роль в нашем понимании общих процессов развития, столь необходимого нам сегодня в выработке стратегии во взаимоотношении человека и природы, мы очень мало можем сказать об общих свойствах «механизмов сборки», а тем более прогнозировать результаты их действий. Задача изучения свойств этих механизмов, как мне кажется, еще толком не поставлена.

## **Механизм обратной связи и понятие «организация»**

При описании процессов физической природы понятием «организация» или «структура» системы обычно не пользуются. Для этого, оказывается, достаточно понятия «состояние». Однако по мере усложнения изучаемых систем, особенно при переходе к исследованию проблем самоорганизации сложных многомерных динамических систем, понятия «состояние» оказывается недостаточно. Возникает потребность в общих интегральных характеристиках. Одной из таких и является понятие организации структуры внутренних связей системы прежде всего. При изучении объектов биологической или общественной природы без понятий «организация» или «структура» обойтись уже невозможно.

Потребности в изучении структурных свойств системы различной физической природы привели к возникновению даже специальной дисциплины – Теории организации. Она существует уже довольно давно и обладает собственными принципами и методами описания. Возникновение этой дисциплины можно связать с именами известного кристаллографа, члена Российской академии Е. Федорова и врача, физиолога и известного общественного деятеля А. Богданова.

Первый из них обратил внимание на то, что разнообразие архитектурных форм существования вещества значительно беднее разнообразия материала, участвующего в природных процессах. Этот факт, имеющий глубокий философский смысл, сделал содержательным выделение структуры вещества как самостоятельного объекта исследования. Такое исследование Е. Федоров провел на кристаллах. Оказалось, что независимо от химического состава вещества, способного к кристаллизации, существует лишь определенный набор кристаллических структур, которые могут существовать в природе. Е. Федоров дал его описание (закон Федорова).

Если для нас сегодня описание кристаллических структур является не более чем наглядной иллюстрацией некоторого общего свойства материального мира, то для Е. Федорова соображения философского и общесистемного характера были продуктом побочным – его интересовали именно кристаллы. Тем не менее теория Федорова заложила основы статистики в Теории организации, то есть изучения стабильных структурных форм материи.

Двумя десятилетиями позднее проблемами организации стал заниматься А. Богданов. Он стремился изучать прежде всего общие принципы организации материального мира и, в частности, динамику организационных форм, то есть изучать характер их изменения под действием внешних и внутренних факторов. Иными словами, если Е. Федоров рассматри-

вал организацию как неизменное свойство, присущее данному объекту, то А. Богданов на обширном материале из различных областей естествознания и обществоведения демонстрировал существование общих закономерностей в изучении организационных структур явлений самой разной природы.

Несмотря на то, что понятие «организация» используется весьма широко, его четкое определение отсутствует. Его не дали и создатели новой дисциплины. Мне представляется, что А. Богданов относил понятие «организация» к числу первопонятий, не отделимых от понятия «материя»: любой материальный объект обладает определенной организационной структурой, любой процесс протекает в рамках определенной организации, а само по себе понятие «организация» не имеет смысла, оно всегда должно быть связано с тем или иным материальным носителем.

С конца прошлого века математики начали заниматься проблемами, которые по своему существу очень близки к Теории организации. Это проблемы топологии и качественной теории дифференциальных уравнений. Я думаю, что благодаря усилиям математиков, работающих в этих областях, уже начал формироваться специальный инструментарий Теории организации. Начало подобным качественным исследованиям было положено А. Пуанкаре.

Значение математических методов и математической интерпретации в теории организации стало особенно наглядным в последнее десятилетие, когда были обнаружены удивительные свойства универсальности систем различной природы, испытавших многократные бифуркации. Изученные сначала на относительно простых явлениях, таких, например, как отображение отрезка в себе, они, как оказалось, свойственны и процессам более сложной природы (см. подробнее: Пуанкаре. О кривых, определяемых дифференциальными уравнениями. М., 1953; Вул Е., Синай Я. Г., Ханин К. М. Универсальность Фейгенбаума и термодинамический формализм. «Успехи математических наук», М., 1984, № 3).

Кажется бессмысленным говорить об организации, не называя ее материального носителя. И тем не менее нам приходится это делать. Ведь нечто подобное случилось с понятием пространства после создания общей теории относительности, когда стали очевидными связь и единство пространства, времени и распределения материи. Теперь мы знаем, что «чистое» пространство – это некоторая фикция, некоторая абстракция. Но это вовсе не означает, что нельзя изучать свойства и особенности того же пространства, той же организации самих по себе. Изучение подобных абстракций чрезвычайно важно для науки и составляет основу многочисленных дисциплин. В конечном счете теоретическая наука в отличие от эмпирии всегда имеет дело с идеализациями реальных объектов. И не только наука. Ведь изучаем же мы законы архитектуры, не вдаваясь в изучение подробностей физических свойств тех материалов, из которых построены разнообразные шедевры зодчества, и изучаем и архитектурные формы, мало беспокоясь о том, как используются здания.

Подобный путь формирования и использования абстракций традиционен для науки – это важнейший способ познания. И Теория организации Богданова является одной из таких теоретических схем. И в таком качестве ее вполне оправданно считать фундаментом современной теории систем. В самом деле, целостное представление о системе требует прежде всего изучения ее организации. И чтобы добиться такого представления, надо сначала ответить на вопрос о том, что такое организация. Во всяком случае, объяснить тот смысл, который мы собираемся вложить в это слово. Общеинтуитивных соображений по этому поводу уже недостаточно.

Любой процесс может быть описан в терминах состояний. Это могут быть фазовые переменные, относящиеся к конечномерным объектам, или функции (в том числе и функции распределения). К числу характеристик состояния можно иногда относить и функционалы, то есть числа, зависящие от переменных состояний. Все переменные состояния так или иначе изменяются во времени. И в каждом конкретном случае можно говорить о харак-

терных временах их изменения, как это принято в физике или технике, измеренных в некотором временно-подобном масштабе времени.

Описание процесса изменения состояний – это и есть, с точки зрения математика и физика, описание эволюции (или развития) изучаемого процесса. И в таком контексте понятие «организация» кажется, вообще говоря, ненужно – без него вроде бы можно и обойтись. Однако, проводя исследование того или иного объекта, мы, как правило, обнаруживаем, что характерные времена изменения некоторых переменных его состояния значительно больше соответствующих времен других переменных. Вот эти первые переменные состояния мы и условимся относить к элементам организации.

Другими словами, организация изучаемого объекта (системы) – это совокупность консервативных, медленно изменяющихся (в частном случае – постоянных, неизменных) характеристик объекта. У кристаллов это их геометрия – взаимное расположение вершин, ребер, граней. В турбулентном потоке это средние характеристики давления, пульсации скоростей и т. д. В теории динамических систем под организацией естественно понимать топологию ее фазовых траекторий, структуру аттракторов и т. п.

В процессе исследования мы следим за изменением организации системы, изучаем условия ее коренной перестройки. С помощью использования подобных терминов часто оказывается возможным описать более наглядно те или иные свойства механизмов бифуркационного типа, поскольку именно в точках катастрофы и происходит резкое изменение организации структуры системы.

С этих же физикалистских позиций можно изучать организацию и живого мира, и общественных структур, определяя каждый раз те характеристики эволюционного процесса, которые мы будем относить к организации. Однако, как мы это увидим ниже, введенное определение организации при переходе к высшим уровням организации материи должно быть существенно дополнено.

Используя понятие организации, мы можем представить основное содержание синергизма – процесса самоорганизации материи – как изменение ее организации, описать процессы развития системы последовательностью переходов от одних квазистабильных состояний, характеризующихся определенными параметрами организации, к другим. Предлагаемый подход отвечает тому представлению о роли временных масштабов при изучении процессов, протекающих в окружающей среде, которые мы находим в многочисленных публикациях В. И. Вернадского.

Заметим, что такое представление лежит, по существу, в основе инструментария современного системного анализа. В самом деле, в каждом конкретном исследовании всегда тем или иным образом определяется (фиксируется) временной интервал, в пределах которого изучается тот или иной объект – например, глубина прогноза погоды или количество жизненных циклов популяции. Величина подобного интервала является важнейшей характеристикой исследования, определяющей цель исследователя.

Но если в любом исследовании всегда существует некоторый характерный интервал времени, то по отношению к нему мы можем провести (и всегда проводим) некоторое ранжирование или классификацию отдельных процессов: быстрые, медленные и т. д. Например, в ряде случаев можно изучать функционирование системы, считая ее организацию неизменной, как в задаче об изучении механических свойств кристалла. Это позволяет нам построить один вариант асимптотической теории. В других случаях можно игнорировать детали некоторых быстропротекающих явлений – получим другой тип асимптотических теорий. Поясним сказанное на примере анализа изменения характеристики климатических процессов.

Говоря о погоде, мы имеем в виду характерные времена порядка нескольких дней. И для ее изучения важнее всего структура атмосферной циркуляции – распределение атмо-

сферных фронтов, характер движения циклонов и т. д. На фоне этой видимой «организации» погоды мы изучаем ее детали, нас интересующие: где и когда выпадут осадки, каков будет суточный ход температуры, чему будет равна максимальная скорость ветра и т. д.

Если же речь пойдет об анализе долговременного климатического процесса, о его зависимости от астрономических факторов, то, например, динамика отдельных циклонов нас уже не будет особенно интересовать. Зато станут значительными новые характеристики: особенности динамики океанических масс, структура энергообмена океан – атмосфера, изменение альбедо земной поверхности и ряд других, которые в «чисто погодных» исследованиях считались постоянными.

Таким образом, наши рассуждения общего характера приводят в конце концов к вполне конкретным методическим рекомендациям в анализе процессов самоорганизации. Одновременно мы видим, что понятие организации достаточно условно, что многое зависит от требований, предъявляемых к анализу. То, что в одних условиях мы можем считать параметрами функционального характера, в других можно отнести к элементам организации.

При переходе к описанию живых, а тем более общественных систем мы должны усложнить понятие организации, поскольку значительно усложняются связи между характером функционирования и структурой системы. Поэтому, говоря об организации систем живой и общественной природы, мы будем иметь в виду не только их консервативные характеристики, но и все те особенности, которые существенным образом влияют на их жизнедеятельность.

Организация систем в живом мире рождает совершенно новый тип механизмов развития, неизвестных в мире неживой материи. Это механизмы обратной связи.

Любому живому существу, любой живой системе свойственно стремление сохранить стабильность своей организации (своего гомеостаза). Разрушение организации живой системы означает ее гибель. Эти системы способны в определенных пределах изменять свое состояние.

Механизмы, определяющие изменения состояния, которые являются реакцией на внешние воздействия и ими определяются, условимся называть механизмами обратной связи. Можно говорить об отрицательных обратных связях, поддерживающих гомеостазис, то есть компенсирующих внешние воздействия, и о положительных, которые ухудшают стабильность системы.

Многие считают, и я долго разделял эту точку зрения, что отрицательные обратные связи, которые поддерживают гомеостазис, как раз и есть та главная особенность, которая отличает все живое от неживого: живое всегда стремится сохранить свою стабильность. Это факт эмпирический.

Но, видимо, это распространенное мнение не вполне точно. В самом деле, с одной стороны, принцип Ле-Шателье, справедливый для неживой материи (он является следствием законов сохранения), можно трактовать как «стремление» сохранить гомеостазис. С другой – некоторые прокариоты и вирусоподобные существа, которых мы традиционно относим к живому миру, по-видимому, лишены способности формировать петли обратной связи. Не вдаваясь здесь в обсуждение этих трудных и сложных вопросов, мы тем не менее можем утверждать, что стремление к гомеостазису, сохранению собственной стабильности, стабильности рода, популяции всегда было одним из мощнейших факторов эволюции, фактором, который открывал прямое влияние на интенсивность естественного отбора.

Но диалектика развития непрерывно демонстрирует нам неоднозначность результатов любых конкретных тенденций и противоречивый характер любых категорических утверждений типа «только так и не иначе».

Устойчивость, доведенная до своего предела, прекращает любое развитие. Она тормозит реализацию принципа изменчивости. Чересчур стабильные формы – это тупиковые формы, эволюция которых прекращается.

Чрезмерная адаптация или специализация столь же опасна для совершенствования вида, как и его неспособность к адаптации. Стремление к гомеостазису должно компенсироваться другими тенденциями, определяющими рост разнообразия. А такие тенденции неизбежно должны будут формировать механизмы не только отрицательных, но и положительных обратных связей. Одна из таких тенденций порождается, видимо, принципом минимума диссипации энергии, о котором я уже говорил.

Было уже отмечено, что этот важнейший принцип отбора может быть распространен и на живые системы, и я предложил его расширенную формулировку. Обобщенный принцип минимума диссипации – это такое же эмпирическое обобщение, как и принцип сохранения гомеостаза.

Живые системы всегда открытые системы. Им свойствен метаболизм, то есть обмен энергией и веществом с окружающим миром, без этого они не могут существовать. И одной из ведущих тенденций их развития является стремление в наибольшей степени использовать энергию внешней среды, уменьшая тем самым свою локальную энтропию.

Этот факт тоже эмпирический: стремление так изменить систему, в такую сторону направить эволюционный процесс, чтобы увеличить ее способность усваивать внешнюю энергию и вещество, столь же свойственно живому, как и стремление сохранить гомеостазис. Эти тенденции в известных условиях могут оказаться противоречивыми, что особенно хорошо видно при анализе общественных форм организации.

В результате непрерывно совершающихся компромиссов между этими тенденциями возникают быстро развивающиеся «прогрессивные» формы эволюции. К таким относятся, например, Человек и формы более стабильные, развивающиеся значительно медленнее и даже практически остановившиеся в своем развитии, вроде термитов и муравьев.

**Примечание.** Термиты, конечно, продолжают развиваться, адаптироваться к изменяющимся условиям. Но, появившись около 400 миллионов лет тому назад, эти родные братья тараканов не столь уж и отличаются от их бесконечно далеких предков.

Таким образом, одной из важнейших особенностей любого эволюционного процесса, протекающего в живом мире, является противоречивое взаимодействие тенденций двух противоположных типов – тенденции к стабильности (сохранению гомеостаза), нуждающиеся в укреплении отрицательных обратных связей, и тенденции поиска новых, более рациональных способов использования внешней энергии и вещества, требующих формирования положительных обратных связей.

Способы разрешения этих противоречий, то есть структуры возникающих компромиссов, могут быть самыми различными. И это обстоятельство тоже в значительной степени ответственно за разнообразие организационных форм материального мира.

Изучение в этом плане развития общества представляет специальный интерес для анализа современных общественных отношений глобального характера, и мы еще вернемся к этому вопросу.

## Исследование процессов развития

Нильсу Бору принадлежит известное высказывание о том, что описать процессы, протекающие в окружающем мире, с помощью одного языка невозможно. Необходимо много разных языков описания, много разных интерпретаций, в каждом из которых отчетливее проявляются те или иные особенности изучаемого явления. Понимание, необходимое чело-

веку в его практической деятельности, требует рассмотрения изучаемого предмета с разных позиций.

Проблема понимания – это вечная проблема. Она стоит перед философией и другими науками со времен древних греков и носит не только научный, не только идеологический, но и психологический характер. И сформулированный тезис Бора достаточно общепринят: вопросы интерпретации всегда занимают в любой научной дисциплине весьма почетное место. Интерпретация всегда особенно важна при изучении проблем развития, где разнообразие материала делает становление его особенно трудным.

Различные интерпретации процесса самоорганизации, позволяющие рассмотреть его в разных ракурсах, дают возможность более отчетливо представить себе то общее, что присуще разным формам движения, и те различия, которые определяют необходимость непрерывного расширения средств анализа. Одна из таких интерпретаций связана с вариационной трактовкой принципов отбора. Как мы увидим, она позволяет подойти к пониманию особой роли компромиссов, а следовательно, и конкретного поведения в истории живого мира.

В 1744 году французский математик и физик Мопертьюн обратил внимание на то, что законы Ньютона допускают вариационную постановку. Другими словами, он показал, что движение, совершающееся согласно законам Ньютона, доставляет некоторым функционалам экстремальное значение. Будучи сыном своего века, он придал этому факту определенный теологический смысл. Позднее были открыты и другие вариационные принципы: принцип наименьшего действия Гаусса, принцип виртуальных перемещений Лагранжа, принцип Гамильтона – Остроградского и т. д. Сначала вариационные принципы были открыты в механике, затем в электродинамике и других областях физики. Оказалось, что все основные уравнения, которыми оперирует физика, определяют траектории, являющиеся экстремальными некоторых функционалов.

Вокруг вариационных принципов развернулись споры. Физиков, математиков и философов (особенно последних) смущало то, что эти принципы можно трактовать в качестве проявления некоторой высшей целесообразности. Даже в 30-е годы XX века еще шли дискуссии по поводу вариационных принципов, причем порой они носили весьма жаркий характер. Однако постепенно эти споры сами собой прекратились. Причиной тому послужило более глубокое изучение природы дифференциальных уравнений, описывающих физические процессы и их связи с вариационными принципами. Оказалось, что практически для любого из уравнений, которые являются выражением того или иного закона сохранения, может быть составлен такой функционал (зависящий от фазовых координат системы), что для него эти уравнения являются уравнениями Эйлера. Другими словами, их решения являются экстремальными. На этих траекториях соответствующий функционал достигает своих экстремальных (или стационарных) значений. Это результат чисто математический, но он имеет глубокий философский смысл. В самом деле, живи мы в другой Вселенной с другими физическими законами, все равно там были бы свои вариационные принципы и своя «высшая целесообразность».

Вариационная формулировка законов сохранения – одно из главных положений современной физики. Однако эти законы не исчерпывают всех принципов отбора, которые выделяют реальные движения из множества мыслимых. Но оказывается, что и другим законам и ограничениям всегда можно придать оптимизационную формулировку, причем переформулировка ограничений в вариационной форме может быть произведена бесчисленным количеством способов. К числу принципов отбора, допускающих оптимизационную постановку, относятся, конечно, и известные принципы Онсагера и Пригожина.

Таким образом, движение неживой материи мы всегда можем описать в терминах многокритериальной задачи оптимизации: найти такие состояния системы, которые обеспечивают минимальные значения функционалов

$$(1), W_1(x) \rightarrow \min; W_2(x) \rightarrow \min; W_3(x) \rightarrow \min \dots$$

где  $W_1$  – это функционал, минимизация которого обеспечивает выполнение законов сохранения;  $W_2$  – функционал, минимизация которого обеспечивает выполнение кинематических условий и т. д.

Из математического анализа известно, что одновременная минимизация нескольких функций (или функционалов) имеет смысл лишь при выполнении некоторых специальных условий. Обозначим через  $\Omega_i$  множество экстремальных значений функционалов  $W_i(x)$ . Тогда задача

$$W_2(x) \rightarrow \min$$

будет иметь смысл, если мы будем, например, разыскивать минимальные значения функционала  $W_2(x)$  на множестве  $\Omega_1$  и т. д. Таким образом, задача (1) имеет смысл тогда, когда множество функционалов упорядочено, ранжировано по порядку их значимости, а пересечение множеств  $\Omega_i$  минимальных значений этих функционалов не пусто. При этих условиях требование (1) определит некоторое множество допустимых состояний. Оно и является ареной развивающихся событий.

При описании явлений неживой природы функционалы  $[W_i]$  действительно всегда ранжированы, причем первое место занимают законы сохранения: ничто не может нарушить законы сохранения массы, импульса, энергии... Различные связи – голономные, неголономные и любые другие ограничения имеет смысл рассматривать лишь для систем, для которых законы сохранения выполнены. Среди всех таких ограничений особое место для открытых систем занимает принцип минимума роста энтропии или минимума диссипации энергии. Он как бы замыкает цепочку принципов отбора: если законы сохранения, кинематические и прочие ограничения еще не выделяют единственной траектории развития системы, то заключительный отбор производит принцип минимума диссипации. Вероятно, именно он играет решающую роль в появлении более или менее устойчивых неравновесных структур в общем процессе самоорганизации материи.

В рамках описанной схемы можно дать следующую интерпретацию процессов, протекающих в неживой природе. Тенденции к разрушению организации и развитию хаоса (повышению энтропии) препятствует ряд противоположных тенденций. Это прежде всего законы сохранения. Но не они одни препятствуют разрушению организации. Принцип минимума диссипации энергии не только отбирает из тех движений, которые допускаются законами физики (им не противоречат), наиболее «экономные», но и служит основой «метаболизма», то есть содействует процессу возникновения структур, способных концентрировать окружающую материальную субстанцию, понижая тем самым локальную энтропию. Так, в стохастической среде, способной породить явления типа странного аттрактора, когда исходные малые различия состояний могут породить в последующем сколь угодно большие различия, в пространстве состояний возникают области, отвечающие локальным минимумам функционала, характеризующего рост энтропии. Эти области возможных состояний оказываются «областями притяжения» в силу принципа минимума диссипации. И в них складываются условия для возникновения локальных структур, чья квазиустойчивость определяется их способностью использовать энергию и вещество из окружающего пространства. Указанные выше локальные минимумы и определяют те каналы эволюции, о которых уже шла речь в предыдущей главе.

Картина, описанная для процессов, протекающих в неживом веществе, принципиально усложняется на уровне живой природы, ибо здесь появляется целеполагание – тенденция к самосохранению, стремление сохранить гомеостазис. Эта тенденция (не сводимая к законам физики) тоже может быть формализована совокупностью условий, каждое из которых допускает вариационную форму,

$$\Phi_i(x) \rightarrow \min, \text{ где } i=1,2,3\dots$$

Однако по отношению к этим функционалам в отличие от функционалов  $W_1$  природа уже не дает правил для их автоматического ранжирования. В игру вступает новый фактор – естественный отбор. Значение функционалов  $\Phi_i$ , определяющих гомеостазис в данных конкретных условиях обитания, различно с точки зрения обеспечения гомеостазиса. Для каждого живого существа возникает свой оптимальный способ поведения, то есть ранжирования функционалов, и каждое из них пытается его найти.

Естественный отбор закрепляет тех представителей, которым лучше других удается ранжировать приоритеты для сохранения гомеостазиса в данных конкретных условиях, другими словами, лучше приспособиться к внешней среде.

Все сказанное только что можно выразить и несколько иначе. Естественный отбор как бы сам формирует некоторый функционал и определяет его оптимальное значение, то есть наиболее выгодное поведение. При этом в отличие от функционала действия живое существо вовсе не обязательно должно реализовывать это оптимальное поведение. Однако чем ближе оно будет к этому оптимальному, тем лучше живое существо будет приспособлено к окружающей среде и тем больше у него шансов выжить в данных конкретных условиях.

Живая система, например популяция, существует во всегда изменяющейся внешней обстановке. Это значит, что непрерывно должен меняться и характер упорядоченности функционалов  $[\Phi_i]$ . Таким образом, для любого живого существа, а тем более для живого мира, на множестве функционалов, определяющих гомеостазис того или иного вида, уже нет и не может быть однозначной раз и навсегда определенной упорядоченности, которая существует, как мы это видели, на множестве функционалов  $[W_i]$ , то есть на множестве законов физики, которые никто нарушить не может.

Законы живого мира, не сводимые к законам физики, выполняются не столь жестоко, они могут нарушиться, но за их нарушение живое существо платит жизнью. В живом мире вступают в действие адаптационные механизмы, требующие непрерывной «переранжировки» элементов множества функционалов  $[\Phi_i]$ . Живой организм, как это показал великий русский физиолог И. П. Павлов, приобретает систему рефлексов – условных и безусловных. Это и есть результат «установившейся» ранжировки, которая при изменившейся ситуации может оказаться трагичной.

Используя язык многокритериальной оптимизации, который был введен в этом параграфе, я могу сказать, что выработка рефлексов проводит необходимую ранжировку функционалов  $[\Phi]$  и устанавливает алгоритмы их локальной оптимизации. (В теории управления системы, обладающие четким алгоритмом обратной связи, называются рефлексными.)

В этой главе я выделил два класса механизмов развития: адаптационные и бифуркационные. Выработка рефлексов – это результат действия адаптационных механизмов. Любое постепенное изменение тех или иных свойств развивающихся систем (в том числе правила поведения отдельных членов популяции), происходящее под действием естественного отбора, – это тоже результат действия подобных механизмов. И каждый раз такие механизмы отыскивают некоторый локальный минимум. (Этот факт позволяет дать еще одно определение адаптационных механизмов на языке теории исследования операций: механизмы, реали-

зующие алгоритмы поиска локальных экстремумов без прогноза изменений внешней среды, то есть лишь по информации об окружающей обстановке, полученной в данный момент, мы и будем называть адаптационными.)

Ракурс, который нам дает теория исследования операций в изучении общего эволюционного процесса, позволяет по-новому увидеть и роль бифуркационных механизмов в развитии материи. Используя язык этой теории, мы могли бы сказать, что бифуркационные механизмы в отличие от механизмов адаптационных осуществляют нелокальную оптимизацию.

То, что начинает происходить в природе, когда вступает в действие бифуркационный механизм, чем-то похоже на ту ситуацию, в которой вычислитель, работая с диалоговой системой оптимизационных расчетов, время от времени при решении сложной задачи отступает от использования локальных алгоритмов типа наискорейшего спуска.

Так он поступает всякий раз, когда используемый алгоритм перестает уже совершенствовать систему, когда его потенциальные возможности оказываются исчерпанными. В этом случае опытный вычислитель начинает использовать какой-либо неэффективный, но зато нелокальный метод поиска.

Изучение алгоритмов развития живых систем показывает, что здесь существенно изменяется и роль принципа минимума диссипации энергии по сравнению с его ролью в процессах развития неживой природы.

В самом деле, в живых системах уже не идет речь о роли энтропии – наоборот, возникают формы, обладающие способностью уменьшать локальную энтропию. Метаболизм – поглощение свободной энергии и вещества – становится основой развития живых существ. Из принципа, который действует лишь тогда, когда другие принципы отбора не выделяют единственной траектории развития процесса, он превращается в тенденцию, свойственную любой живой системе – тенденцию максимизировать локальное уменьшение энтропии за счет метаболизма.

Исследования особенностей самоорганизации живой природы показывают, что вместе с усложнением организации живых систем возникают и определенные противоречия между их стремлением к сохранению гомеостаза, стабильности и тенденцией максимизировать *эффективность* поглощения и использования внешней энергии и вещества.

По-видимому, всю историю развития жизни на Земле можно было бы изложить на языке, использующем противоборство различных тенденций. Не исключено, что разрешение противоречий между этими двумя тенденциями происходит по классическому образцу, установленному в теории исследования операций: спонтанно возникают те или иные свертки основных критериев, а естественный отбор загоняет систему в один из локальных экстремумов этого комбинированного критерия, характеризующего особенность той или иной локальной ниши. Во всяком случае, история антропогенеза показывает, что подобная гипотеза не лишена подобных оснований.

Итак, эволюция живого мира может изучаться под углом зрения «поисков компромиссов»: наблюдаемое состояние живой системы оказывается всякий раз непростым компромиссом. Заметим, что отыскание таких компромиссов происходит без участия интеллекта – принципы отбора формируют те механизмы, которые находят эти стихийные «алгоритмы эволюции».

Совсем иначе складывается ситуация на социальном уровне организации материи. Здесь ранжирование функционалов [Ф<sub>и</sub>], определяющих условия гомеостаза и формирования их свертки, становится прерогативой интеллекта. Поскольку те или иные предпочтения, которые определяют поведение людей, являют собой субъективное представление о способах обеспечения социальной стабильности, будь это отдельный человек, род, племя и т. д., субъективный фактор начинает играть все большую роль.

Возникающая неопределенность, которую порождает субъективный фактор, начинает во многих случаях заменять природную стохастичность, необходимую для развития эволюционного процесса. Изменчивость теперь в значительной степени определяется различием в целях, различием в оценках обстановки и путях достижения целей, даже если они и совпадают. Мы видим, что деятельность интеллекта качественно меняет все алгоритмы отбора.

На уровне живой природы наиболее типичными и легко наблюдаемыми являются механизмы адаптационного типа, а бифуркации возникают лишь в исключительные моменты ее истории. На социальном уровне ситуация также радикальным образом изменяется. Более того, говоря об общественных формах движения, мы должны внести существенные коррективы в ту условную классификацию механизмов развития, которую ввели ранее.

В самом деле, развитие любой социальной системы из любого состояния может происходить заведомо не единственным образом даже и тогда, когда она не подвержена действию неизвестных нам сил, случайностям и неопределенностям. Причина тому – интеллект, который включается в процесс выбора «продолжения».

Дальнейшее развитие любого процесса общественной природы определяется той ранжировкой функционалов, если пользоваться языком, который мы употребляем в этом параграфе, то есть той субъективной шкалой предпочтений, которая существует у каждого человека. А точно предусмотреть действия людей нельзя в принципе: в одних и тех же условиях два разных человека часто принимают совершенно разные решения. Отсюда возникает неоднозначность и неопределенность возможных продолжений процесса развития в каждый момент времени.

Другими словами, каждое состояние социальной системы, по нашему определению, является бифуркационным. Именно это обстоятельство приводит к резкому ускорению всех процессов самоорганизации общества. По мере развития научно-технического процесса и производительных сил организационные основы общества начинают изменяться во все возрастающем темпе.

Заметим, что язык оптимизации, то есть отыскания экстремальных значений некоторых функционалов, с помощью которого мы описали алгоритмы развития на нижних уровнях организации материи, сохраняет свое значение и для социальной реальности. Однако интеллект производит фильтрацию возможных решений, возможных типов компромиссов неизмеримо эффективнее и быстрее, нежели это делает механизм естественного отбора.

Активное участие интеллекта в процессе развития позволяет расширить область поиска оптимума. Общественные силы перестают быть рефлексными, такими, в которых локальный минимум разыскивается по четко регламентированным правилам. Поэтому для описания алгоритмов развития, действующих в системах социальной природы, простого языка оптимизации становится уже недостаточно. Мы вынуждены использовать другие способы описания, принятые в теории исследования операций и системном анализе. В частности, это язык и методы анализа конфликтных ситуаций и многокритериальной оптимизации.

Особое значение приобретает «обобщенный принцип минимума диссипации», область применения которого непрерывно расширяется. На протяжении всей истории человечества стремление овладеть источниками энергии и вещества было одним из важнейших стимулов развития и устремления человеческих интересов. И поэтому оно всегда было источником разнообразных конфликтов.

По мере развертывания научно-технического прогресса, по мере истощения земных ресурсов все более утверждается новая тенденция – стремление к экономному расходованию этих ресурсов. Возникают, в частности, безотходные технологии. Преимущественное развитие получают производства, требующие небольших энергозатрат и материалов, это прежде всего электроника и биотехнология. На протяжении всей истории темпы развития энерге-

тики опережали темпы развития других отраслей производства. Теперь, кажется, эти темпы начинают выравниваться.

Способность использовать свободную энергию и другие ресурсы планеты практически всегда определяла исход конфликтов между социальными структурами, а также отбор таких структур. По-видимому, так будет и в дальнейшем, хотя теперь появится много других факторов отбора организационных общественных структур, о чем я буду специально говорить во второй части этой книги.

Поэтому изучение конфликтных ситуаций и принципов отыскания компромиссов приобретает на современном этапе особую важность. Именно в этой сфере знаний может проявиться потенциальная способность человека самостоятельно и целенаправленно формировать алгоритмы развития.

## **Замечания о принципах минимума диссипации**

Обсуждая принципы отбора и механизмы развития, особое внимание я уделю принципу минимума диссипации энергии. Этот вопрос не нов. Проблема «экономии энтропии» – этой меры разрушения организации и меры необратимого рассеяния энергии – уже неоднократно была предметом самого тщательного анализа. Однако я придаю этой проблеме не совсем привычную трактовку. Поэтому, формулируя те или иные положения, касающиеся принципа минимума диссипации, я должен показать их связь с теми утверждениями, которые выдвигались другими авторами.

Мое утверждение, которое относилось к миру неживой материи, было следующим: если множество устойчивых (квазиустойчивых, стабильных) движений или состояний, удовлетворяющих законам сохранения и другим ограничениям физического характера, состоит более чем из одного элемента, то есть они не выделяют единственного движения или состояния, то заключительный этап отбора, отбор реализуемых движений или состояний, которые также могут и не быть единственными, определяется минимумом диссипации энергии или минимумом роста энтропии.

Это утверждение не является строгой теоремой, подобной вариационным принципам механики. Это всего лишь предположение, но достаточно правдоподобное и, во всяком случае, не противоречащее экспериментальному материалу. И поэтому оно позволяет получить весьма полезные результаты, полезные с точки зрения практики. Приведем один пример, иллюстрирующий его применение. Рассмотрим установившееся движение по круглой трубе смеси двух жидкостей разной вязкости, но одинаковой плотности. Коэффициент вязкости этой смеси будет зависеть от процентного соотношения ее составляющих. Рассматриваемое течение моделирует движение суспензии, представляющей собой жидкость со взвешенными в ней частицами, когда их размер очень мал по сравнению с диаметром трубы.

Течение такой суспензии обладает замечательным свойством: в узкой зоне около стенок трубы взвешенные частицы отсутствуют. Это явление носит название пристеночного эффекта. Его подробное аналитическое исследование было проведено Ю. Н. Павловским (см.: Павловский Ю. Н. О пристеночном эффекте. – Механика жидкостей и газов. М., 1967, № 2, с. 160).

Законам сохранения может удовлетворить движение смеси с произвольным распределением концентрации более вязкой жидкости. Однако в природе устанавливается такое течение, которое обладает пристеночным эффектом, когда концентрация жидкости большей вязкости практически равна нулю у стенок трубы и максимальна в окрестности ее оси. Оказывается, что такое течение удовлетворяет принципу минимума диссипации.

Нетрудно привести еще серию примеров из самых разных областей науки и техники, показывающих, как, используя принцип минимума диссипации, можно объяснить и предсказать целый ряд наблюдаемых явлений.

Итак, опытные данные показывают, что существует определенный класс явлений в неживой природе, для которых принцип минимума диссипации энергии оказывается одним из важнейших принципов, позволяющих выделить реальные состояния из множества виртуальных. На этом основании в предлагаемой книге и был сформулирован этот принцип как некоторое эмпирическое обобщение, если угодно, как некоторая гипотеза.

Именно в такой форме он и был внесен в иерархию принципов отбора. В ней он играл роль «закрывающего» принципа: когда другие принципы не выделяют единственного устойчивого состояния, а определяют целое возможное множество, то принцип минимума диссипации служит дополнительным принципом отбора. Заметим, что среди неустойчивых (или лучше сказать, быстро протекающих) движений могут быть и такие, которым отвечает меньшее производство энтропии. Однако из-за их неустойчивости мы их и не способны наблюдать.

Чтобы избежать лишних дискуссий, я хочу еще раз подчеркнуть, что мое утверждение не является строгой теоремой и вряд ли оно вообще может быть обосновано с традиционных позиций, согласно которым обоснование того или иного вариационного принципа сводится к доказательству тождественности траекторий движения экстремалиям минимизируемого функционала. Мне кажется, что обсуждаемый факт связан с общим стохастическим фоном любого явления, протекающего в нашем мире.

Заметим, что, никогда специально не формулируя, мы всегда пользуемся еще одним подобным принципом – «принципом устойчивости». Этот принцип я бы сформулировал так: множество наблюдаемых стационарных состояний включает в себя лишь устойчивые. Он тривиален, если учесть, что любая система все время подвержена действию случайных возмущений. В самом деле, мы никогда не наблюдаем карандаша, стоящего на своем острие, или маятника в его верхнем неустойчивом состоянии.

Вариационные принципы, возникшие в механике и физике, сыграли выдающуюся роль в их развитии и создании эффективных методов анализа различных прикладных задач. В последние десятилетия вариационные принципы широко использовались и при создании сложных физических теорий. На этом пути очень важные результаты были получены еще в 1931 году создателем неравновесной термодинамики голландским физиком Л. Онсагером. Им был найден некоторый функционал, который получил название потенциала рассеивания, достигавший своего минимального значения на решениях уравнений, описывающих движение сплошной среды, в которой происходят химические реакции. В 1947 году бельгийским физиком И. Пригожиным другим путем был также получен принцип, который был им назван принципом минимума производства энтропии. В 70-х годах венгерский физик И. Дьярмати показал, что оба эти принципа при известных условиях являются эквивалентными (см.: Дьярмати И. Неравновесная термодинамика. М., 1974) и принцип Пригожина следует из принципа Онсагера.

Работа Онсагера, Пригожина и их последователей имела своей целью построение «классических» вариационных принципов, таких, из которых законы сохранения, то есть уравнения, описывающие движение среды, были бы прямыми следствиями. Другими словами, ими была сделана попытка построить принципы, носящие достаточно универсальный характер. Во всяком случае, такой же, как и принципы механики. Однако для их вывода требовалось сделать ряд серьезных предположений об особенностях изучаемых движений и процессов: локальная обратимость, линейность в смысле Онсагера и т. д. Благодаря этому развитие и использование принципов Онсагера и Пригожина для анализа прикладных задач

столкнулись с целым рядом трудностей, и их область применимости оказалась на деле весьма ограниченной.

Вместе с тем И. Пригожий дает следующую формулировку принципа минимума производства энтропии: «Теорема о минимуме производства энтропии... утверждает, что производство энтропии системой, находящейся в стационарном, достаточно близком к равновесному состоянию, минимально» (см.: Пригожий И. Р. *Время, структуры и флуктуации*. – *Успехи физических наук*. М., 1980, т. 131, вып. 2, с. 185). Он рассматривает сформулированный принцип в качестве весьма универсального.

Примеров, показывающих неуниверсальность этого принципа, который в литературе получил название теоремы Пригожина – Глейнсдорфа, сейчас известно уже достаточно много. Поэтому я отношу принцип Онсагера – Пригожина – Глейнсдорфа, как и остальные классические вариационные принципы, к числу важных утверждений физики и физикохимии, каждый из которых имеет свою вполне определенную область применимости. Что же касается принципа «минимума энтропии», который я ввел и использую в этой работе, то он не имеет прямого отношения к указанным выше принципам, не следует из них и представляет, с моей точки зрения, некоторое эвристическое утверждение, отвечающее тому, что мы наблюдаем в окружающем мире.

Проблема формулировки принципов отбора, когда мы переходим к описанию процессов развития живого вещества, еще резко усложняется. Появляется стремление к сохранению гомеостазиса, которому отвечает представление об обратных связях. Они, в свою очередь, являются новыми принципами отбора, свойственными только живой природе.

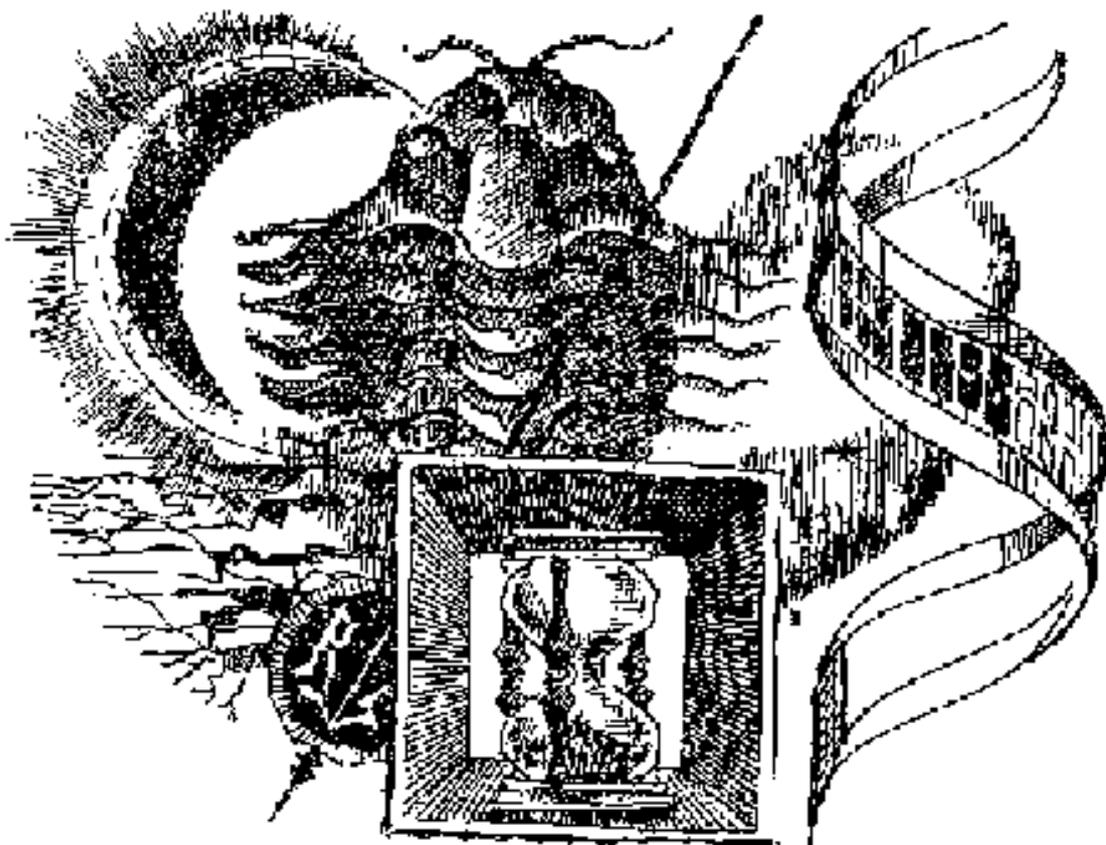
Но эти принципы отбора действуют совершенно иначе, нежели принципы отбора в неживой природе. Так, например, законы сохранения массы или импульса не могут не выполняться. Ничему и никому ни при каких обстоятельствах не дано возможности нарушить эти законы. Что же касается принципа стабильности живого организма – принципа сохранения гомеостазиса, то он проявляется не как закон физики, а как тенденция: живое существо стремится сохранить свою стабильность, но в принципе оно способно ее и нарушить. При этом оно может погибнуть или выжить, но это уже другой вопрос. Тенденция сохранения гомеостазиса у живого вещества – это эмпирическое обобщение, ибо оно наблюдается в природе и не знает примеров, ему противоречащих.

Точно так же и принцип минимума диссипации энергии проявляется в живом веществе как некоторая тенденция: эмпирический принцип переходит в эмпирическую тенденцию – любому живому существу свойственно стремление в максимальной степени использовать внешнюю энергию и вещество.

Я думаю, что это очень важный принцип, неэквивалентный принципу сохранения гомеостазиса. Более того, в известных условиях первый может даже противоречить второму. Эту проблему я уже обсуждал. Здесь заметим только, что с позиций представления о самоорганизации разрешение возникающего противоречия вполне возможно; чтобы найти новые и более устойчивые состояния, живая система должна покинуть старое состояние, а это можно сделать только за счет внешних энергии и вещества при положительных обратных связях, разрушающих старые стабильные состояния.

В живой природе описанное противоречие между тенденцией к локальной стабильности и стремлением в максимальной степени использовать внешнюю энергию и материю является одним из важнейших факторов создания новых форм организации материального мира.

### Глава III. Память, ее генезис в преддверии интеллекта



#### Возникновение генетической памяти и обратных связей

В предыдущих главах я изложил исходные принципы той методологии, которую принимают в качестве основы для глобального анализа: сама Земля и все, что на ней происходило, происходит сегодня и будет происходить завтра – суть частные проявления единого, общего процесса саморазвития материи, подчиняющегося единой системе законов (правил), действующих в нашей Вселенной.

Пользуясь терминологией, получившей ныне широкое распространение, мы можем сказать, что все наблюдаемое нами, все, в чем мы сегодня участвуем, – это лишь фрагменты единого синергетического мирового процесса. Его течение обусловлено законами, характерные времена которых лежат за пределами доступных нам сегодня знаний и измерений. Это позволяет считать их постоянными.

Все развитие нашего мира выглядит сложной борьбой различных противоположных начал и противоречивых тенденций на фоне непрерывного действия случайных причин, разрушающих одни устойчивые (точнее, квазистабильные) структуры и создающих предпосылки для появления новых.

Несмотря на огромные достижения науки последних десятилетий, от нее сегодня, как и во времена В. И. Вернадского, остаются пока скрытыми основные детали важнейшей «земной тайны» – появления жизни на нашей планете, возникновения буфера – пленки, по терминологии В. И. Вернадского, между космосом и неживым веществом Земли. Мы знаем только, что около 3,5–4 миллиардов лет тому назад на Земле появилась качественно иная

форма организации материи, которая обладает удивительной способностью усваивать внешнюю энергию, прежде всего энергию Солнца, с помощью реакции фотосинтеза.

**Примечание.** Впрочем, может быть, и иным путем. В конце прошлого века С. Н. Виноградским был открыт хемосинтез – процесс образования некоторыми бактериями органических веществ из двуокиси углерода за счет химических реакций, например, окисления серы. Открытие наряду с фотосинтезом реакции хемосинтеза существенно расширило наши представления о возможностях возникновения и развития форм жизни, которыми располагает Природа.

На этапе возникновения жизни Природа нашла новый ряд организационных форм, которые обеспечивают материальным объектам значительно более глубокое значение минимума функционала, отвечающего обобщенному принципу диссипации энергии, – возникли организационные формы, способные не только рассеивать энергию, но и накапливать ее.

Одновременно эти формы обладали невероятной способностью сохранять свой гомеостазис. В самом деле, первые прокариоты появились и жили на Земле в условиях почти кипящего океана, при исключительной сейсмической активности и очень высоком уровне коротковолновой радиации – ведь тогда еще не было озонового слоя!

Я думаю, что из всех живых организмов, когда-либо существовавших на планете, эти первые организмы были, вероятно, самыми «жизнестойкими». Они обладали самой высокой способностью адаптации к быстрому изменению условий обитания, которое было характерным для поверхности нашей планеты тех времен.

И к этому надо добавить еще следующее: первые прокариоты были практически бессмертными. Именно бессмертными, как и всякое неживое образование. Их можно было, конечно, разрушить, но собственной смерти они, вероятно, еще не знали. На этом этапе развития материи уже произошло отделение живого от неживого, но пропасть между живым и неживым еще не была столь глубока, как сегодня.

И тем не менее будущее принадлежало не этим существам, обладающим фантастической способностью сохранять гомеостазис. В конечном итоге эта эволюционная ветвь земной жизни оказалась тупиковой – не им принадлежало будущее. Господство прокариотов на Земле тянулось, вероятно, значительно больше одного миллиарда лет. Это они создали газовую оболочку планеты и условия, которые позволили появиться гораздо позднее эукариотам.

Последним и была передана эстафета дальнейшего развития. Они уже овладели кислородным дыханием. И, обладая им, эукариоты могли утилизировать внешнюю энергию неизмеримо более эффективно. Другими словами, они в гораздо большей степени могли добиваться локального снижения энтропии.

Но эти новые формы организации материи заплатили за свое возникновение дорогую цену: в отличие от прокариотов эукариоты сделались смертными. Они потеряли способность первых прокариотов сохранять свой гомеостазис практически в любых земных условиях.

В предыдущей главе я попытался показать, что многообразие форм жизни определенным образом связано с множеством возможных компромиссов между тенденциями обеспечения собственного гомеостазиса и стремлением живых систем реализовать обобщенный принцип минимума диссипации. Возникает ситуация, которая чем-то напоминает движение по поверхности Парето. Как известно, это многообразие замечательно тем, что увеличение одного из критериев (показателей) сопровождается уменьшением значения другого или других: на ней нельзя добиться одновременного роста значений всех критериев. Когда система находится на поверхности Парето, то для того, чтобы улучшить какую-либо из своих характеристик, она неизбежно должна поступиться уменьшением других.

**Примечание.** Множество Парето, названное так по имени известного итальянского экономиста Парето, играет важную роль в теории многокритериальной оптимизации. Предположим, что мы хотим найти такую стратегию – вектор  $x$ , которая наилучшим образом отвечала бы нашим стремлениям увеличить значение целого ряда показателей – скалярных функций  $\varphi_1(x)$ ,  $\varphi_2(x)$ ... Тогда, задавая некоторое значение вектору  $x = x_1$  в пространстве этих показателей мы получаем некоторую точку  $P(x_1)$  с компонентами  $\varphi_1(x)$ ,  $\varphi_2(x)$ ...

Предположим теперь, что мы нашли такую стратегию  $x=x^*$ , для которой имеют место неравенства:

$$\varphi_1(x_1) < \varphi_1(x^*); \varphi_2(x_1) < \varphi_2(x^*); \dots$$

Очевидно, что в дальнейшем стратегию  $x=x_1$  мы можем уже не рассматривать – она по всем показателям хуже стратегии  $x = x^*$ . Значит, нас могут интересовать только те точки  $P(x)$  в пространстве показателей, для которых нельзя найти другой точки  $x^*$ , такой, чтобы по всем показателям имели бы место неравенства

$$\varphi_1(x_1) < \varphi_1(x^*); \varphi_2(x_1) < \varphi_2(x^*); \dots$$

Совокупность всех подобных точек  $P$  в пространстве показателей и называется поверхностью (или множеством) Парето, а точки, лежащие на ней, – компромиссами Парето.

Появление эукариотов, которые на определенном этапе земной истории сменяют на вершине жизненной пирамиды прокариотов и становятся носителями дальнейшего развития жизни, служит наглядной иллюстрацией «паретовских компромиссов». Уменьшение стабильности отдельного организма, появление индивидуальной смертности как генетического свойства этой формы жизни сопровождалось увеличением эффективности (во много раз) в использовании внешней энергии. Это открывало живому веществу совершенно новые возможности для своего развития.

Именно потеря бессмертия позволила включить в единый процесс развития новые механизмы эволюции, резко интенсифицировать естественный отбор. Переход от царства прокариотов к царству эукариотов – это такой же гигантский шаг в мировом эволюционном процессе, как и переход от человекоподобного австралопитека к современному человеку, а может быть, даже и больше.

С момента появления эукариотов начинается все ускоряющееся совершенствование видов и стремительный рост их разнообразия.

Однако об этом начальном периоде земной истории, о возникновении первых прокариотов и появлении первых эукариотов мы знаем очень мало. Но нет сомнений в том, что это была одна из важнейших страниц истории жизни на планете. Появление эукариотов (и современных прокариотов) на авансцене жизни привело к возникновению генетического кода или, во всяком случае, тесно связано с ним: без него ничто смертное не могло бы появиться в биосфере.

Появление существ, индивидуальная жизнь которых конечна, стало возможным лишь при наличии специальной формы памяти, обеспечивающей реализацию принципа наслед-

ственности. И она возникла! Это был генетический код, с помощью которого запоминалась и передавалась необходимая наследственная информация.

Напомню, что сейчас алфавит генетического кода состоит из четырех букв – четырех нуклеотидов. Ничему не противоречит гипотеза о том, что в начале истории земной жизни могли существовать и другие варианты языка, кодирующие наследственные признаки. Но в наших земных условиях – подчеркну, в конкретных условиях земной жизни – сложившаяся форма передачи наследственности, наследственной информации, – оказалась, вероятно, наиболее стабильной. Она позволила более надежно воспроизводить себе подобных, сохранив оптимальную для тех времен, конечно, изменчивость, то есть уровень мутагенеза. Стабилизация генетической памяти резко интенсифицировало весь эволюционный процесс.

**Примечание.** Я думаю, что генетический код, как и все «гениальные находки жизни», возник и утвердился в результате жесточайшей конкуренции и естественного отбора. Живые существа, наделенные другими способами кодирования наследственной информации, просто не выдержали конкуренции и вымерли. Разумеется, высказанное соображение не более чем гипотеза. Никаких подтверждений для него мы не знаем. Но оно и не противоречит изложенным выше принципам самоорганизации материи и согласуется с ними. Если это так, если жизнь возникла или существует в других мирах, в других частях Вселенной, то вовсе не обязательно, что ее генетический код, то есть структура ее наследственной памяти, будет такой же, как и на Земле. В других условиях более надежной может оказаться иная форма хранения и передачи наследственной информации. Возникновение наследственной памяти, взаимосвязанное с появлением биологической смерти как естественного явления и с редупликацией, то есть способностью воспроизводить себе подобных, означало появление качественно новых возможностей для расширения многообразия организационных структур материального мира. В самом деле, конечность существования отдельного организма сама по себе обеспечивает высокий уровень изменчивости и, следовательно, адаптацию к изменяющимся условиям и «открытие» возможностей более эффективно совершенствовать способы освоения внешней энергии.

Особую роль в эволюции жизни играет история развития нервной системы. Говоря о нервной системе, мы неизбежно вступаем в область кибернетики или, точнее говоря, теории управляющих систем. Ведь вместе с жизнью возникает и целенаправленная деятельность, прежде всего стремление сохранить свою стабильность, свой гомеостазис.

Мы не раз уже употребляли понятие «гомеостазис», и настало время уточнить его смысл, тем более что это понятие очень широкое и разными специалистами трактуется по-своему.

В медицине и биологии, говоря о гомеостазисе, имеют в виду внутреннюю стабильность, внутреннее равновесие организма. То же, если речь идет о системе живых существ, например о популяции. Но для той популяции не менее важна и оценка внешних характеристик окружающей среды, их соответствия возможностям функционирования живой системы. Этот контекст более важен для данной работы, и именно в нем мы и будем в дальнейшем использовать понятие гомеостазиса.

Условимся называть границей области гомеостазиса (или просто гомеостазиса) данной живой системы множество – линию, поверхность, гиперповерхность в пространстве параметров внешней среды, отделяющей область их значений, внутри которой существование живой системы возможно, от остального пространства. Переход из области гомеостазиса

через ее границу означает прекращение возможности существования данного организма, данной живой системы.

Когда мы говорим о тенденции к сохранению гомеостаза, то мы имеем в виду стремление живого организма или системы организмов расширить границы возможностей своего существования. Это может быть достигнуто двумя путями. Во-первых, организм может так изменить свои собственные характеристики, что становится способным существовать в более сложных условиях, то есть расширить зону гомеостаза за счет своих внутренних возможностей. Во-вторых, он, чтобы отодвинуть опасную границу, может изменить саму внешнюю среду, ее параметры.

Эволюция живой природы использует, разумеется, обе эти возможности. Другими словами, живые существа стремятся не только сами адаптироваться к окружающей среде, но и изменить эту среду так, чтобы ее характеристики в наибольшей степени соответствовали их возможностям существования.

Чтобы обеспечить свой гомеостаз, живое существо должно обладать целым рядом свойств. Во-первых, оно должно быть способным оценивать свое положение по отношению к границе гомеостаза. Но для этого необходимы специальные устройства. В физиологии они называются рецепторами. Если использовать терминологию теории управления, то мы должны сказать, что для сохранения своего гомеостаза живое существо должно обладать специальной информационной системой. В простейшем случае рецепторы – это датчики (как гироскоп у автопилота), информирующие организм о его состоянии и состоянии окружающей среды.

Далее, информация, полученная датчиками, должна перерабатываться и оцениваться. Наконец, на основе проведенного анализа должно приниматься определенное решение. Вот все эти функции и реализует нервная система, которую мы с полным правом можем назвать системой управления организмом, ибо она выполняет все перечисленные функции, которые присущи любой управляющей системе.

Следует заметить, что нервная система – это не единственная управляющая система, которой обладает организм. Функции управления в достаточной степени рассредоточены (как во всякой сложной управляемой системе, целиком централизованное управление невозможно). К числу других управляющих систем организма относится, например, эндокринная система. Но нервная система, «возглавляемая» мозгом, занимает в жизнедеятельности организма совершенно особое место.

Самая трудная для понимания и исследования функция системы управления – это акт принятия решений. Именно он ответствен за образование обратных связей, существующих в организме и связывающих организм и окружающую среду. Благодаря этой функции нервной системы организм способен не только определять свое положение по отношению к границе гомеостаза, но и вырабатывать определенную совокупность действий, компенсирующих нежелательные отклонения от «нормы».

Хотя природа сформировала цепочки обратных связей еще на самой заре жизни, люди поняли их принципиальное значение и начали сознательно использовать сравнительно недавно – лишь при проектировании технических систем для придания устойчивости их работе.

Наверное, интуитивно люди уже давно прибегали к использованию принципа обратной связи – вспомним поведение рулевого на любом судне. Но первой технической системой, в которой сознательно реализовался принцип обратной связи, послужившей к тому же основанием для создания большой современной науки (Теории управления техническими системами), был регулятор Уатта. Создателями этой теории принято считать инженера И. А. Вышеградского (бывшего при императоре Александре II министром финансов Российской империи) и знаменитого английского физика Дж. К. Максвелла. Они разрабо-

тали математическую теорию этого регулятора независимо друг от друга в конце сороковых годов прошлого века.

Теорию управления техническими системами можно было бы назвать, не делая большой ошибки, теорией отрицательной обратной связи. Главные задачи, которые она долгое время решала, так или иначе были связаны с отысканием такой обратной связи, которая позволяла бы компенсировать возникающие помехи и обеспечивать устойчивость некоторых избранных состояний или движений системы. Лишь в последние десятилетия возникли новые разделы теории управления, значительно расширившие область ее применения.

Норберт Винер еще в сороковых годах нашего века утверждал, что существование отрицательных обратных связей у живых существ является одной из основных, а может быть, и главной особенностью, отличающей живую природу от неживой. Технические системы с обратной связью в счет не идут, поскольку они обладают обратной связью по воле их создателя – человека.

Это утверждение Н. Винера получило широкую известность. В литературе нередко высказывается убеждение, будто бы факт существования отрицательных обратных связей как основное отличие живых существ от неживых предметов является открытием Н. Винера. Однако еще за 15 лет до работ Н. Винера П. К. Анохин также утверждал, что наличие отрицательных связей, обеспечивающих устойчивость организмов, – это то самое главное, что присуще жизни, что создает у живых существ возможность целеполагания – стремление к сохранению гомеостаза, что отличает жизнь от процессов, протекающих в неживой природе. Ученики и последователи П. К. Анохина считают именно его зачинателем современной биокibernетики.

Но, по-видимому, ни П. К. Анохин, ни Н. Винер не были правы. А правильную точку зрения первым высказал скорее всего А. А. Богданов, который еще в 1911 году занимался общими проблемами организационных структур. Его книга «Всеобщая организационная наука или тектология», которая была опубликована в 1911 году, написана довольно архаичным языком, и, конечно, самого термина «обратная связь» у автора просто нет, да и не могло быть, поскольку он появился лишь в двадцатых годах, да и то в лексиконе технических специальностей. Однако, если перевести рассуждения А. А. Богданова на современный язык, можно будет сказать, что для развития организаций любой природы, в том числе и биологических, необходимы не только отрицательные, но и положительные обратные связи.

И действительно, любая организационная система, любое живое существо, в частности, если присмотреться к их деятельности, всегда проявляют способности реализовать оба типа обратных связей. Ведь одни только отрицательные обратные связи, если они достаточно совершенны, приводят систему в столь устойчивое состояние, что она уже не способна изменяться. А это означает застой и деградацию ее организации и ведет к прекращению всякого развития и к исчезновению той варибельности, без которой никакая эволюция живого невозможна.

Заметим, что прекращение эволюционного процесса морфологического совершенствования далеко не всегда означает потери живой системой устойчивости по отношению к изменяющимся условиям существования и способности сохранять гомеостазис. Природа демонстрирует удивительные примеры стабильности, когда на протяжении десятков, а то и сотен миллионов лет организмы того или другого вида – как растительного, так и животного царств – остаются практически неизменными. И происходит это за счет удивительного совершенства отрицательных обратных связей. Поэтому для «прогрессивной» эволюции, то есть такого процесса, который ведет к появлению новых качеств, к росту сложности организмов, к повышению уровня разнообразия, необходимы также и положительные обратные связи. Они позволяют расширить поиск, более полно использовать потенциальные возможности изменчивости. В частности, тенденция к повышению эффективности использования

внешней энергии вряд ли может быть реализована без использования положительных обратных связей.

В последующем изложении наряду с термином «организация системы» мы будем часто применять и термин «организм». Под организмом, следуя терминологии теории управления, мы будем понимать любую систему, которая не только имеет свои собственные цели, но и обладает определенными возможностями им следовать. Живое существо всегда является организмом, поскольку оно не только имеет цель – сохранить свой гомеостазис, но и обладает определенными возможностями его обеспечения. Организмами являются и многие сообщества живых существ.

И-спользуя эту терминологию, мы можем сказать, что любой организм обладает потенциальной способностью реализовать как отрицательные, так и положительные обратные связи.

Редупликация, метаболизм, возникновение и устойчивость неравновесных структур (неравновесных с точки зрения термодинамики) – все это укладывается в более или менее понятные схемы, и мы сталкиваемся с подобными процессами уже на предбиологическом уровне организации вещества.

Работы М. Эйгена семидесятых годов и его последователей уже наметили определенные пути их математического моделирования. Что же касается механизмов обратной связи обоих типов, которые присущи всему живому, то их возникновение и сегодня остается тайной за семью печатями. Это такое изобретение природы, для которого у нас нет пока никаких аналогий. Мы еще очень далеки от того, чтобы представить себе модель процесса, который мог бы привести к возникновению какого-либо из механизмов подобного типа. Следуя терминологии В. И. Вернадского, факт существования сложных механизмов обратных связей следовало бы назвать главным «эмпирическим обобщением» в той науке, которая занимается изучением развития Земли и жизни на Земле. В процессе естественной эволюции планеты на ней возникли живые структуры, обладающие механизмами обратной связи, – это мы можем только констатировать.

Сегодня часто употребляют термин «теоретическая биология». В попытках расширить это выражение говорят о необходимости создания теоретической биологии на манер теоретической физики и нередко сходятся на том, что такой науки пока еще нет. И это справедливо. Объем накопленного в биологии эмпирического материала действительно требует создания стройной теоретической системы, связанной единым становым хребтом, который подобен закону Ньютона в классической механике.

Но такой фундаментальной основы в биологии пока еще нет. Поэтому мне представляется, что альтернативой царствующей эмпирии и разрозненным концепциям и теориям, являющимся озарением гениев, а не следствием дедуктивного анализа, суждено будет делаться модели, описывающей возникновение в живом веществе обратных связей.

На этот путь нам указывает и опыт последних десятилетий. М. Эйгену удалось построить модель редупликации и метаболизма биологических микромолекул. Если бы удалось сделать следующий шаг и построить нечто подобное для объяснения механизма обратных связей, то мы могли бы заменить сформулированное выше эмпирическое обобщение стройной логической схемой и тем самым заложить основу теоретической биологии.

## **Рефлексное управление и нервная система**

Итак, в процессе эволюции живые системы (организмы) обзавелись механизмами обратных связей, которые помогают им обеспечивать собственную стабильность и дальнейшее развитие. Носителями реакций обратных связей являются все управляющие системы живого существа и прежде всего нервная и гормональная системы. Эволюционируя как

система управления организмом, нервная система непрерывно усложняется в процессе эволюции и в результате превращается в систему, содержащую блоки переработки информации и выработки команд исполнительным органам.

В предыдущей главе я не раз использовал слово «синергетика». Этот термин включает в себя понятие эволюции в том смысле, что любой эволюционный процесс, протекающий в живом мире, является проявлением синергизма, то есть характеризуется возникновением стабильных, квазистационарных, но существенно термодинамически неравновесных структур. Поэтому можно сказать, что в рамках единого синергетического процесса возникли более или менее устойчивые структуры, способные реализовывать обратные связи, которые играют роль новых принципов отбора, сужающих множество возможных движений – вариантов поведения, – доступных живому организму в силу законов неживой природы.

## **Конец ознакомительного фрагмента.**

Текст предоставлен ООО «ЛитРес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на ЛитРес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.