

Н.Н.МОИСЕЕВ

АЛГОРИТМЫ
РАЗВИТИЯ

Академические чтения

Никита Моисеев
Алгоритмы развития

Журнал «Экология и жизнь»

1987

Моисеев Н. Н.

Алгоритмы развития / Н. Н. Моисеев — Журнал «Экология и жизнь», 1987 — (Академические чтения)

ISBN 978-5-9500751-7-9

На основе идей В. И. Вернадского дается развернутое изложение мирового эволюционного процесса. Автор стремится показать общность процессов, протекающих в неживой материи, в биоте и обществе. Значительное место в книге занимает проблема места информатики и вычислительной техники в реализации принципа коэволюции биосферы и общества. Анализируются экологические кризисы, возможные последствия ядерной войны.

ISBN 978-5-9500751-7-9

© Моисеев Н. Н., 1987
© Журнал «Экология и
жизнь», 1987

Содержание

Предисловие	6
Введение	8
Глава первая	11
1. Дарвиновская триада	11
2. О механизмах развития	19
3. Структура организации и обратные связи	23
4. Об одной интерпретации процессов развития	27
5. О принципах минимума диссипации	33
Глава вторая	37
1. Возникновение генетической памяти и обратных связей	37
2. Рефлексное управление и нервная система	43
Конец ознакомительного фрагмента.	46

Н. Н. Моисеев

Алгоритмы развития

© Издательство «Наука», 1987 г.

Предисловие

Изучение биосферы и общества как единой системы, которая включает верхний слой суши, гидросферу (прежде всего океан), атмосферу, биоту и, конечно, человека с его общественными структурами, попытка описать динамику этой системы с помощью математических моделей неизбежно ставят множество вопросов методологического и общеметодического характера. Центральным среди них оказывается вопрос о возможности создания синтетического языка, позволяющего единым, образом представить развитие системы от неживого состояния к зарождению жизни, ее эволюции вплоть до появления человека и развития общества. Этот язык должен допускать постепенное расширение, т. е. включение новых понятий по мере перехода к объектам все более и более сложной природы и организации.

Вопрос о языке возник еще на грани 60-х и 70-х годов, когда в Вычислительном центре АН СССР мы начали обсуждать возможность создания системы моделей, имитирующих динамические процессы, протекающие в биосфере, и искать пути для описания кооперативного поведения общества, рассматриваемого как противоречивое единство разнообразных социальных организмов. Вопрос о языке имел сначала чисто прикладное, даже служебное значение. Однако постепенно он перерос в самостоятельную проблему, и для этого было достаточно оснований.

Логика работы постепенно привела к пониманию того, что создание единого языка, синтетического представления единого процесса развития является, по сути дела, разработкой определенной картины мира, без которой вряд ли возможно предложить обоснованную стратегию глобальных исследований, т. е. изучения природы и общества как единого целого. Такая картина должна отвечать существующему экспериментальному материалу. Она будет, конечно, достаточно условной, и тем не менее в ней должна быть отражена определенная концепция развития материи, ее самодвижения или, лучше сказать, самоорганизации. Мне казалось, что подобная работа может представлять известный интерес и с позиции философии, поскольку она демонстрирует материальное единство мира и диалектику его развития.

Основная трудность, с которой пришлось столкнуться, состояла в том, что различные формы движения и уровни организации материи – неживая, или «косная» материя, жизнь и общество – были разобщенными предметами интересов разных специалистов – физиков, биологов и обществоведов. У каждого из них сложились свои традиции, свой стиль мышления и свой язык. Необходимость преодоления этой трудности и разработка эскиза мирового процесса развития диктовались самой логикой исследований взаимоотношения природы и общества и создания на ее основе инструментария, позволяющего анализировать последствия крупномасштабных антропогенных воздействий. Но такую работу можно было проделать, только опираясь на ту или иную научную традицию.

Будучи по образованию математиком и физиком, я выбрал, естественно, тот путь синтеза, который утвердился физикой, и попытался последовательно провести. «физикалистскую позицию» на всех этапах анализа. Но, отдавая себе отчет в недостаточности такого подхода, продиктованного практическими нуждами математического моделирования, я счел необходимым выделить ряд коренных вопросов, которые в него не укладываются и требуют тех или иных гипотез, в том числе и не подтвержденных каким-либо экспериментальным материалом или наблюдениями. В процессе работы мне пришлось знакомиться с новыми для меня направлениями знаний и вести длительные обсуждения множества вопросов со специалистами далеких от меня областей деятельности. Особое значение имело для меня изучение наследия В. И. Вернадского (сначала я даже задумал написать эту книгу в ключе современной интерпретации идей В. И. Вернадского и демонстрации фундаментальности

его научной позиции для решения современных глобальных, т. е. общепланетарных, проблем). Начало работы, связанной с попытками описания глобальных процессов, протекающих в биосфере, во многом обязано нескольким лекциям покойного Н. В. Тимофеева-Ресовского, которые он прочитал в конце 60-х годов в Вычислительном центре АН СССР. Эти лекции и общение с их автором оказали большое влияние на формирование моих общеметодических и методологических концепций.

Первоначально схема «алгоритмов развития», о которой здесь будет идти речь, разрабатывалась, если так можно выразиться, «для внутреннего пользования т. е. как отправная методическая позиция для той практической деятельности по математическому моделированию крупномасштабных экологических ситуаций, которой в те годы занимался Вычислительный центр АН СССР¹. При этом некоторые выводы методологического характера показались мне не совсем тривиальными, и я посвятил им специальную работу². В ней, однако, не нашли отражения мои взгляды на общий эволюционный процесс, точнее, общий процесс развития и то место, которое занимает в нем информатика. Эти взгляды сложились у меня к концу 70-х годов.

Окончательная структура книги определилась под влиянием дискуссий относительно двух, казалось бы, далеких друг от друга вопросов. Первый – в каком отношении находятся развитие интеллекта и эволюция живой материи? Этот вопрос обсуждался с профессиональными философами. При этом я понял, что предлагаемая и используемая мной система взглядов достаточно естественна и не вызывает с их стороны существенных возражений.

Второй вопрос – какое содержание следует вкладывать в понятие «искусственный интеллект» и как оно связано с современными проблемами глобального характера? Он вызвал значительно больше споров. Мой подход оказался как бы на перепутье между двумя весьма различными точками зрения: биологов и инженеров – специалистов в области информатики. В обсуждении выяснилось, что оба указанных вопроса связаны между собой весьма тесными узами. Этот факт заслуживает серьезного внимания.

Рукопись настоящей книги была прочитана членом-корреспондентом АН СССР И. Т. Фроловым и доктором философских наук В. Г. Гороховым, которые сделали ряд замечаний философско-методологического характера, за что я им искренне признателен. Не менее важным для меня было обсуждение рукописи с моими товарищами по Вычислительному центру – кандидатом физико-математических наук И. Г. Поспеловым и доктором физико-математических наук Ю. М. Свирежевым, которым я также хотел бы выразить свою глубокую благодарность.

Особую благодарность я приношу наиболее суровому из моих оппонентов – доктору биологических наук А. Г. Назарову, который помог мне увидеть то существенное, что разделяет взгляды физиков и биологов, понять различие их подходов к анализу глобальных проблем экологии и построению общей картины развития, что, однако, не помешало мне сохранить свою точку зрения.

И в заключение отмечу, что я вполне отдаю себе отчет в том, что предлагаемая книга может вызвать многие нарекания. Мне, специалисту в области информатики, очень трудно удовлетворить профессиональным требованиям и физиков, и биологов, и обществоведов одновременно, хотя именно их я и вижу своими читателями. Тем не менее я предлагаю им эту книгу, ибо глубоко убежден в необходимости работ, которые перебрасывают мостики между специальностями и знакомят с тем, какие ракурсы видения предмета могут возникать в смежных дисциплинах. Без этого просто невозможно говорить о синтезе физической, естествоиспытательской и обществоведческой, гуманитарной позиции, столь необходимом в современной жизни.

Введение

За последние 10–15 лет все большее и большее количество людей, живущих в самых разных странах, начинают интересоваться проблемами глобального, или, что то же самое, общепланетарного, характера. Это вполне закономерно, поскольку наша цивилизация обрела сегодня такую мощь, которая сопоставима с мощью глобальных процессов естественного происхождения, а по многим показателям даже их превосходит.

Любое живое вещество всегда активно воздействует на окружающую среду. Изменяя ее, оно само участвует в круговороте химических элементов. При моделировании биосферы мы имеем дело с быстропротекающими геохимическими циклами. В процессе движения химических элементов их известная часть выносятся из круговорота и образует осадочные породы, например торф, уголь и т. д. Эти породы снова возвращаются в круговорот, но через периоды времени геологических масштабов. Они представляют собой своеобразные «отходы» активной деятельности живого вещества. Так вот, например, поданным В. А. Ковды (1975 г.), современное человечество в этом смысле эффективнее остального живого мира в 2 тыс. раз: объем отбросов органического происхождения биосферы равен 10^7 т в год, а человечества – 2×10^{10} т в год. Таким образом, влияние человека на биосферу является теперь существеннейшим фактором ее эволюции, изменения ее не только локальных, но и глобальных характеристик. Этот факт таит в себе опасность поставить под угрозу само существование человечества.

Среди глобальных проблем наиболее острой становится проблема войны и мира: ядерная война, как теперь мы уже знаем, приведет к такой перестройке биосферы, которая исключит возможность существования людей. Но не только война может оказаться причиной катастрофической перестройки биосферы. Ни один вид живого не способен существовать в среде, созданной из своих отбросов, – вот почему тенденции всевозрастающего загрязнения окружающей среды не могут не вызывать глубокое беспокойство.

В силу описанных причин возникает прямая необходимость изучения биосферы и общества как единой развивающейся системы, особенностей эволюции этой системы в условиях растущих антропогенных нагрузок и непрерывного роста взаимозависимости существования людей, даже если они живут на отдаленных друг от друга континентах.

Все более широкие круги общественности начинают осознавать, что стихийное, неконтролируемое развитие производительных сил может окончиться катастрофой. Понимание людьми этого факта означает, что общество в своем развитии вступает в эпоху ноосферы, когда человеческий интеллект должен взять на себя заботу и ответственность за судьбу планеты. Ее дальнейшее развитие должно теперь сделаться направляемым, ориентированным на общие цели. А для этого необходимы новые знания, которые я условно объединю названием «теория развития ноосферы»¹. Эта теория призвана осветить будущие ступени цивилизации, если, конечно, какой-то маньяк не развяжет всеразрушающий ядерный конфликт.

Теории ноосферы еще нет. Для ее создания у нас пока не хватает знаний. Теория развития ноосферы должна быть синтетической дисциплиной. Ей предстоит объединить многие науки (пожалуй, даже все!) – естественные, технические, гуманитарные. В самом деле, ведь она должна не только сформулировать общие принципы коэволюции (гармоничного взаимообусловленного существования) человека и биосферы, но и предложить инструмент, позволяющий найти способы преодоления тех кризисов и бед, которые подстерегают человечество на его тернистом пути.

Но чтобы подготовить возможность создания теории развития ноосферы, нам предстоит переосмыслить многие достижения гуманитарной, технической и естественнонауч-

ной мысли, увидеть их в новом ракурсе. Такая работа, безусловно, потребует огромных усилий представителей многих специальностей.

В наших попытках найти нужный ракурс мы идем не совсем по целине. Система взглядов на характер взаимоотношений человека и окружающей среды, на роль и обязанности человека в будущем мире уже доброе столетие разрабатывается учеными, прежде всего нашими соотечественниками. «Философия общего дела» Н. Ф. Федорова¹ «Биогеоценология» В. Н. Сукачева и Н. В. Тимофеева-Ресовского, «Всеобщая организационная наука, или Тектология» А. А. Богданова и, конечно, «Учение о биосфере и ее постепенном переходе в ноосферу» В. И. Вернадского представляют собой звенья единой цепи, единого русла нашей отечественной мысли, заложившей основу современного понимания проблем взаимоотношения человека и природы, поднявших их на уровень проблем общепланетарного значения. Сопоставление идей этого великого наследия с новыми достижениями современного естествознания и обществоведения все больше и больше убеждает меня в том, что единственной позицией, позволяющей разобраться в невообразимо сложном узле проблем, которые должна решать будущая теория развития ноосферы, является целостное представление о процессах развития материи, ее самоорганизации – представление, в котором появление человечества, разума предстает как естественный этап развития космического тела – Земли. Раскрытие механизмов самоорганизации, может быть, и есть то самое важное, что необходимо для познания возможных путей дальнейшего развития цивилизации.

В самом деле, с ростом могущества человека резко ускоряются многие процессы, протекающие в обществе и биосфере. Если раньше заметные изменения в состоянии общества и окружающей среды требовали столетий, то сейчас они совершаются буквально на глазах одного поколения. И тем не менее они остаются теми же взаимосвязанными процессами развития живой и неживой природы и общества. Как и раньше, ими управляют объективные законы. При этом определенность и неизменность законов природы совсем не означают предопределенности (детерминированности) общих процессов развития. Появление нового фактора развития земной жизни – разума – не меняет этого утверждения. Он – порождение природы и не может изменять ее законов. Тем не менее разум способен ставить цели развития. Но для их достижения он должен следовать объективным законам.

Принцип материального единства мира и принцип развития – только такое соединение и может послужить гносеологической базой системы знаний, в которую однажды окажется уложенной растущая, как снежный ком, совокупность сведений о всех тех процессах развития, с которыми нас сталкивает человеческий опыт и которые являются лишь фрагментами единого процесса – мирового процесса самодвижения, самоорганизации материи. Развитие неживой природы и космоса, появление разума и общественных форм движения материи, возникновения техносферы² и ее развитие уже недостаточно изучать изолированно. Для построения теории развития ноосферы да и для будущего всей цивилизации представляется совершенно необходимым видеть их звеньями единой цепи.

Сегодня такая научная позиция начинает завоевывать все большее признание, ибо она открывает пути для изучения проблемы самоорганизации материи. А эти проблемы интересуют сегодня практически всех. Ими начинают заниматься физики, математики, экологи, философы... В научном обороте появился термин «синергетика», производный от древнегреческого слова «синергос», или «вместе действующий».

Что означает этот термин? В процессе движения материи непрерывно возникают и разрушаются более или менее стабильные структуры, которым свойствен «метаболизм». Они далеки от термодинамического равновесия, а их относительная устойчивость поддерживается благодаря использованию внешних энергии и вещества. Так вот то, что обозначается термином «синергетика», претендует на изучение этих процессов, и потому данный термин близок к понятию развития. Однако, по моему мнению, синергетика еще не превратилась в

самостоятельную дисциплину, обладающую собственным инструментарием и четко выраженным предметом исследования.

Примечание. Понятие «синергетика», конечно, не исчерпывает философской категории развития. Оно занимает в содержании этой категории лишь определенную «экологическую нишу». Не исключено, что синергетика постепенно превратится в самостоятельную дисциплину, изучающую существенно нелинейные процессы. Уже сегодня начал возникать своеобразный язык, позволяющий общаться ученым, изучающим нелинейные и неравновесные процессы физической, химической, биологической и даже социальной природы. Возможно, что со временем возникнет и соответствующий инструментарий. Тем не менее в этой книге я буду по возможности избегать термина «синергетика», используя, если это допустимо, другие, более привычные понятия.

Глава первая

Единство процесса развития

1. Дарвиновская триада

Система взглядов, развиваемая в данной работе, опирается на те представления о характере процесса развития нашей планеты, которые были сформулированы В. И. Вернадским и вошли в историю научной мысли как учение о биосфере и ее постепенном переходе в ноосферу. Сейчас это учение начинает оказывать все большее влияние на характер мышления исследователей, а может быть, и на цивилизацию в целом.

В основе учения В. И. Вернадского лежит представление о взаимозависимости процессов, протекающих на Земле. Все они связаны друг с другом и являются фрагментами ее развития. Важнейшим событием в истории нашей планеты было появление на ней жизни, резко ускорившей все процессы преобразования неживой, по терминологии В. И. Вернадского, «косной» материи.

В. И. Вернадский считал жизнь космическим феноменом. «Жизнь ... – писал он, – является не случайным явлением в мировой эволюции, но тесно с ней связанным следствием»¹. Как мне представляется, он был первым из ученых-естественников, который понял космическое значение факта возникновения жизни на Земле и начал систематическое исследование ее влияния на планету, представляя жизнь «буфером» между космосом и «косным», т. е. неживым, веществом Земли. В самом деле, Земля, будучи космическим телом, непрерывно испытывает воздействие космических процессов. А жизнь, способная усваивать энергию Солнца непосредственно и трансформировать ее в земное вещество, многократно усиливает это воздействие.

Таким образом, Земля, ее биосфера видятся нам ныне как единая система, в которой жизнь связывает в одно целое процессы, протекающие на Земле, с процессами космического происхождения. И сегодня изучение ее как целостной системы представляется жизненно необходимым.

В. И. Вернадский начал систематическое изучение единого процесса развития с момента возникновения Земли, который отстоит от сегодняшнего дня на 4,5 млрд лет. Опираясь на открытия последних десятилетий, мы можем нарисовать более полную (чем у В. И. Вернадского) картину мирового эволюционного процесса, сдвинув начало отсчета уже на пару десятков миллиардов лет. Поэтому тот эволюционный процесс, который изучал В. И. Вернадский, сейчас мы имеем право рассматривать лишь как фрагмент единого процесса развития материи.

Чтобы получить единое, синтетическое описание всего процесса самоорганизации материи (т. е. нашей Вселенной), нельзя обойтись без некоторого фундаментального предположения. Это может быть или гипотеза Большого взрыва, или нечто ей эквивалентное, утверждающее возникновение Вселенной, т. е. момент начала единого процесса развития. Сегодня мы можем отнести его отметку назад на 2×10^{10} лет. Но хотя современные космологические гипотезы и соответствующие опытные факты (реликтовое излучение, например) открыли горизонты, которые были неведомы во времена В. И. Вернадского, они только раздвинули то представление о единстве процесса развития материального мира, которое было исходной, отправной точкой его учения.

За последние десятилетия было сделано еще несколько эпохальных открытий, позволяющих уточнить учение В. И. Вернадского и связать воедино многие факты, которые до

этого носили фрагментарный характер. Во-первых, совсем недавно были обнаружены следы жизни на Земле, которая существовала 3,5–3,8 млрд лет тому назад. Другими словами, возникновение Земли как космического тела и появление на ней жизни произошли, по космическим масштабам, почти одновременно. Этот факт переоценить невозможно!

Другое открытие не меньшей значимости – это доказательство существования на Земле генетического кода, единого для всего живого. Единый алфавит из четырех букв – это, вероятнее всего, следствие некоего процесса естественного отбора, сохранившего наиболее устойчивую, наиболее приспособленную к нашим земным условиям форму передачи наследственной памяти – наследственной информации, которая кодируется нуклеиновыми кислотами. Это открытие является важнейшим аргументом в пользу утверждения о том, что жизнь, во всяком случае в ее современных формах, способных сохранять наследственность, не была занесена из космоса, а родилась здесь, в наших земных условиях². Единство генетического кода очень трудно объяснить, отрицая, что жизнь возникла на Земле и является естественным этапом ее эволюции. Этот факт, который воспринимался В. И. Вернадским в качестве эмпирического обобщения», т. е. не противоречащим опытным данным, теперь не только постепенно уточняется, но и превращается в строго установленное положение.

Еще один аргумент в пользу гипотезы о земном происхождении жизни на нашей планете дает нам изучение оптических свойств живого вещества. Оказывается, что в отличие от «косного» вещества В. И. Вернадского живое всегда оптически активно. Это означает, что его молекулы обладают общей асимметрией, определяющей его способность в поляризации света, который проходит через живое вещество. В неживом же веществе молекулы всегда имеют разные свойства симметрии. В результате их смешения такое вещество не обладает способностью к поляризации. Аминокислоты же, из которых состоят живые организмы (а также вещество, прошедшее сквозь организм или образовавшееся в результате его распада), обладают такой способностью. Этот факт, открытый еще в прошлом веке Л. Пастером и П. Кюри, имеет огромное значение для понимания особенностей мирового эволюционного процесса вообще и возникновения жизни в особенности, роли жизни в трансформации материи и изменении ее свойств.

Представим себе два рода молекул – оптических изомеров – так называемые правые и левые молекулы. Они неразличимы по своим физико-химическим свойствам.

Чтобы отличить их, 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!³ Однако, как представляется, благодаря этому факту у нас теперь есть возможность отличать вещество биогенного происхождения от вещества «косного».

В распоряжении ученых сейчас уже есть определенное количество вещества космического происхождения (метеориты, лунный грунт и т. д.). Его изучение показывает, что и в космосе происходят процессы, в результате которых там появляются следы биологических макромолекул. Это обстоятельство трудно переоценить. Оно еще раз показывает, что усложнение организации материи и выход ее в предбиологическую фазу характерны не только для нашей планеты. Это типично, по-видимому, для Вселенной в целом, т. е. для мирового процесса развития материи.

Вместе с тем пока нет ни одного подтверждения гипотезы о том, что в космосе существует вещество биогенного происхождения, т. е. вещество, обладающее оптической активностью. Вот почему предположение о том, что земная жизнь имеет земное происхождение, является наиболее естественным. И оно – это предположение – ничуть не противоречит тезису В. И. Вернадского о том, что жизнь «не является случайным явлением в мировой эволюции».

Наконец, четвертый факт, имеющий фундаментальное значение для нашего понимания общей картины мирового процесса развития, – это новые данные об эволюции органических макромолекул. Особую роль в изучении этой эволюции сыграли исследования М. Эйгена. Мне кажется, что из всего множества фактов предбиологической эволюции, которые были установлены этим исследователем за последние годы, важнейшим следует считать демонстрацию возможности возникновения – уже на уровне биологических макромолекул – явления редупликации, т. е. размножения и метаболизма.

В последние годы все большее внимание в теории самоорганизации привлекают проблемы самовоспроизведения без изменения организации системы. Такое явление получило название аутопоэза. И по-видимому, только М. Эйгену удалось построить математическую модель аутопоэтической системы, отражающую реальный процесс эволюции биологических макромолекул⁴.

Я думаю, что именно эти достижения науки, эти замечательные факты позволяют нам сегодня считать возникновение жизни естественным этапом саморазвития материи, одной из форм ее самоорганизации. Но надо заметить, что подобные факты, сколь бы они ни были принципиально важными, практически не приблизили нас 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 им мы начинаем постепенно догадываться, что между живым и неживым, может быть, и не существует столь резкого рубежа, который предполагался до сих пор. Граница между живым и неживым веществом, наверно, размыта, а многообразие форм самоорганизации материи, может быть, содержит относительно устойчивые образования, которые трудно отнести только к живой или только к неживой материи. Лишь отойдя достаточно далеко от этой границы, мы можем с уверенностью говорить о том, что заведомо является живым, и сформулировать для него знаменитый принцип Пастера – Реди: живое – это только то, что происходит от живого.

Примечание. Отсутствие известных нам форм вещества, которые не могут быть идентифицированы в качестве живого или «косного», допускает объяснение с двух принципиально различных позиций. Если мы примем гипотезу о том, что живое вещество не может возникнуть из неживого, т. е. справедливость эмпирического принципа Пастера – Реди для всех уровней организации вещества, то мы должны будем заключить либо о самостоятельном происхождении живого, либо о вечности его существования. Если же мы примем схему развития материи, согласно которой жизнь есть естественный этап развития ее организационных форм, то нам останется принять лишь одну гипотезу – о неустойчивости переходных форм. Последняя гипотеза кажется мне предпочтительней – она естественна для специалистов, занимающихся существенно нелинейными проблемами. В самом деле, в природе мы можем наблюдать лишь относительно долгоживущие образования (обладающие относительно большой стабильностью), которые и 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.

Лица, занимающиеся философско-методологическими проблемами биологии, часто выделяют как одну из характернейших методологических особенностей исследования живого необходимость целостного подхода при изучении живых объектов (необходимость рассматривать их с точки зрения категории целого). В самом деле, только условно можно говорить о частях живого организма как о живых. Не может быть живой руки или живой головы независимо от организма, которому они принадлежат. Конечно, на определенном

уровне сложности организации ее изучение необходимо требует целостного или, как еще говорят системного рассмотрения. Однако этот подход характерен не только для исследования живого вещества. Многие другие явления окружающего мира тоже нельзя понять, игнорируя их целостный характер. (Вместе с тем не всякие живые объекты нуждаются в указанном подходе – так, разрубив червяка на части, мы получим столько новых червяков, на сколько частей его разрубили.)

За последние годы многое удалось понять и в том, что можно назвать механизмами развития (в частности, эволюции⁵), в том, как происходят изменения структуры (организации) материи, как возникают новые качества, что является двигателем процесса самоорганизации. Становится все более понятным, что единый мировой процесс развития – это не просто игра случая, а непрерывное усложнение организации, происходящее в результате взаимодействия объективной необходимости со столь же объективной стохастичностью нашей Вселенной. Реальность такова, что необходимость вовсе не исключает случайность, но определяет потенциальные возможности развития, которые описываются законами природы.

Единый процесс развития охватывает неживую природу, жизнь и, наконец, общество. Все это – звенья единой цепи, и поэтому естественно попытаться описать весь процесс развития на одном языке, в рамках единой схемы, с использованием общей терминологии. Такое связанное описание процессов развития резко упрощает саму технологию системного анализа биосферных процессов. Но дело не только в этом. Создание общего языка позволяет наглядно увидеть глубокую генетическую связь между различными фрагментами мирового процесса развития.

Однако, чтобы создать такой язык, необходимо решить проблему ключевых понятий и расширения их содержания и смысла по мере расширения области использования. В качестве таких ключевых понятий мы возьмем дарвиновскую триаду: изменчивость, наследственность, отбор.

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 лежат в основе функционирования всех механизмов нашего мира и порождают многочисленные проблемы философского и специально-научного характера. Их далеко не всегда можно объяснить – далеко не всегда нам ясны причины возникновения стохастичности и неопределенности. Но изменчивость является фактом – одним из основных «эмпирических обобщений», с которыми нам непрерывно приходится сталкиваться. Мы часто апеллируем к ней как к исходному понятию при объяснении явлений и процессов живой и «косной» природы. Вместе с тем изменчивость – случайность и неопределенность – проявляется не сама по себе, а в контексте необходимости, т. е. законов, управляющих движением материи и развитием ее организационных форм.

Классическим примером, показывающим, что стохастика (изменчивость) соседствует с детерминистическими законами, является турбулентность. В этом на первый взгляд абсолютно хаотическом движении жидкости всегда можно обнаружить своеобразную строгую упорядоченность. Оно подчиняется строгим физическим законам, в нем наблюдается стабильность средних характеристик, существуют определенные формы организации (коэффициенты сопротивления, среднее значение завихренности и т. д.). Но объяснить возникновение турбулентности без обращения к случайности (случайным возмущениям) невозможно. И по существу, все развитие нашего мира можно представить моделью некоего турбулентнообразного движения материи – как непрерывное образование новых форм организации, их неизбежное разрушение, последовательность переходов от одних состояний к другим. Различие будет заключаться лишь во временных масштабах, в степени детализации анализа

и характере интерпретации результата. Таким образом, все наблюдаемое нами – это единство случайного и необходимого, стохастического и детерминированного.

Случайность и неопределенность – это понятия не тождественны – пронизывают все уровни организации материи. Процессы, протекающие в неживой природе (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 или прогнозируя события.

Но хотя глубинный источник изменчивости нам часто бывает неясен, именно она создает то «поле возможностей», из которого потом возникает многообразие организационных форм – наблюдаемых и изучаемых нами, относительно долгоживущих образований. Она же вместе с тем служит и причиной их разрушения – такова диалектика самоорганизации. Одни и те же факторы изменчивости стимулируют и созидание и разрушение. Не меньшую роль стохастичность и неопределенность играют и в повседневной жизни людей, порождая, в частности, неоднозначность отображения реального мира в их сознании, а значит, неопределенность в их поведении и реакциях 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 всегда однозначно (как, например, в задаче Коши для обыкновенных дифференциальных уравнений, правая часть которых удовлетворяет условиям Липшица). В реальности такая однозначность представляется совершенно исключительным явлением. Поэтому факт наследственности означает лишь то, что понять возможности будущего нельзя без знания 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».

Итак, наследственность – это термин, отражающий влияние прошлого на будущее. И часто, не зная хорошо прошлого, мы невольно относим многие наблюдаемые факты к числу случайных, т. е. к изменчивости. В этом есть определенный резон. Приведем пример, показывающий, что подобное отнесение – обычное (привычное) и закономерное явление в инженерной практике.

Инженеры-гидравлики и гидротехники, оценивая размеры речного стока, зная которых необходимо для обоснования проектов орошения, считают случайной величиной боковую приточность, т. е. тот объем воды, который поступает в реку из притоков и ключей. На этом основании характеристики боковой приточности они определяют обрабатывая данные наблюдений за ряд лет методами статистики. В действительности же боковая приточность определяется рядом факторов, вполне доступных самостоятельному наблюдению: толщиной снежного покрова в предшествующую зиму, характером весенних осадков, влагой, накопленной за предшествующие годы, и др. Мы, однако, не знаем точной связи между этими факторами, имевшими место в прошлом, и их следствиями – боковой приточностью в настоящем и будущем. В подобных ситуациях инженеру ничего не остается, как интерпретировать изучаемую величину в качестве случайной и применять для исследования ее свойств правила обработки случайной информации.

Примечание. Рассмотренный пример интересен во многих отношениях. Прежде всего он показывает, что в ряде случаев явления, которые мы относим к изменчивости, оказыва-

ются на самом деле следствиями феноменов, имевших место в прошлом. Это обстоятельство имеет самостоятельный интерес и заслуживает специального исследования. Ведь оно означает, что в известных условиях наследственность может трактоваться как изменчивость (и наоборот). Значит, между этими двумя понятиями далеко не всегда можно провести строгую разграничительную линию. Все это имеет глубокую связь с принципиальной неустойчивостью подавляющего большинства процессов, с которыми нас сводит природа.

Третье, пожалуй самое трудное, понятие дарвиновской триады – отбор. Биологи трактуют его соответственно своей дисциплине, в результате чего обычна такая его интерпретация: «выживает сильнейший, наиболее приспособившийся», т. е. выживает тот, кто выжил! Внутривидовой отбор потому и называется отбором, что он отбирает те признаки, те особенности, которые, возникнув в результате действия случайных факторов, затем передаются в будущее за счет действия механизма наследственности. Конечно, подобная трактовка механизма естественного отбора крайне упрощена – это лишь его скелет. Но она выражает тот образ мышления, которому мы обязаны достижениями современной биологии.

Мне, как представителю физики, математики, информатики, пытающемуся воссоздать образ единства эволюционного процесса, недостаточно подобных интерпретаций фундаментального термина «отбор». Мне необходима его более широкая трактовка, позволяющая распространить понятие отбора на объекты «косной» материи, 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 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. Движение таких систем характеризуется высшей степенью неустойчивости: две любые сколь угодно близкие точки будут порождать совершенно различные траектории. Такие особенности движения были названы в математике некоррекциями. Французский математик Ж. Адамар считал, что в «правильных физических теориях» всегда должна иметь место «корректность»: малым причинам должны отвечать малые следствия. Если задача оказывалась некорректной, то она, согласно Адамару, была неправильно поставлена. Этот принцип, 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 вполне детерминированными уравнениями, подобны траекториям, порождаемым случайным процессом. Они не только хаотичны, но из-за сильной неустойчивости их невозможно прогнозировать – любая сколь угодно малая неточность 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) типично в природе, то не заставляет ли оно нас увидеть стохастичность макромира в совершенно новом свете? Может быть, для ее объяснения нет необходимости использовать соображения, связанные со стохастичностью микромира? В самом деле, ведь процессы, порождающие «странный аттрактор» (или явление «универсальности» по Фейгенбауму), приводят к поведению систем, неотличимому от случайных процессов. И ведь они возникают сами по себе, в системах вполне детерминированных, не подверженных каким-либо случайным возмущениям.

И далее: может быть, принципиальные «некорректность» и неустойчивость, порождающие хаос, неупорядоченность, – это естественное состояние материи, ее движения, на фоне которого время от времени возникают как исключительные явления 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 «некорректном мире» вызывают к существованию более или менее устойчивые образования, которые мы только и можем фиксировать в наших наблюдениях?

Все перечисленные вопросы – труднейшие, и на них у нас пока нет удовлетворительного ответа. Все они тесно связаны с другим, еще более глубоким вопросом: что такое законы природы?

В одной из последних моих книг⁶ 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 регистрируем 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 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 саморазвития.

Ставя своей целью создание некоего языка, годного для описания процессов различной физической природы, мы, по-видимому, должны будем ограничиться сформулированным утверждением. Попробуем интерпретировать сказанное, обратившись к концепциям точного естествознания, возникшим еще в XVIII в.

В механике со времен Мопертьюи (и Лагранжа) принято говорить о «виртуальных движениях» или множествах «возможных продолжений», понимая под этим любые «возможные» движения, согласные со связями, но не обязательно удовлетворяющие законам физики (Для того чтобы подчеркнуть трудности определений 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 и случайными, причинами. Значит, уже в XVIII в. было понято, что изменчивость (если угодно, стохастичность) предоставляет природе целое «поле возможностей», из которого отбирается, т. е. 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 «есть на самом деле». В XVIII в. этот факт сделался достоянием механики: было установлено, что реальные движения из множества виртуальных отбираются с помощью законов Ньютона, которые являются простейшими принципами отбора.

Сегодня мы способны гораздо глубже и шире представить себе судьбу любых динамических систем и связь между виртуальными и реальными движениями. Из всего множества движений, согласных со связями, в реальность «пропускаются» лишь некоторые исключительные движения.

Набор фильтров, которые это совершают, т. е. принципов отбора, очень велик. И законы Ньютона – только один из них. Внутривидовая борьба, порождающая отбор в живом мире, которую Ч. Дарвин назвал естественным отбором, – другой подобный принцип. Принципами отбора являются законы сохранения, законы физики и химии в частности. К числу

принципов отбора относится, конечно, и второй закон термодинамики, невыводимый из законов сохранения.

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 ее состояние, которому отвечает минимальное рассеяние 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. Оисагера (1931 г.) и принцип минимума производства энтропии И. Пригожина (1946 г.), которые были сформулированы для проблем неравновесной термодинамики. Но он не выводится из последних. Позднее мы еще вернемся к обсуждению соотношения этих принципов.

Примечание. В отличие от других вариационных принципов, в том числе принципов механики, сформулированный выше принцип минимума диссипации энергии не является строго обоснованным и вряд ли может быть обоснован в традиционном смысле этого слова. Вот почему я и назвал его «эмпирическим обобщением», тем более что примеров, ему противоречащих, я не знаю.

Я думаю, что принцип минимума диссипации энергии есть только 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 понимается лишь в смысле стационарности.

Мне представляется справедливой 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 и (или) вещество. Этот принцип отбора я буду называть *обобщенным принципом минимума диссипации*. Позднее я внесу в формулировку этой гипотезы еще некоторые уточнения.

2. О механизмах развития

Выше я попытался показать возможности обобщения языка, выработанного впервые эволюционной биологией, для представления развития процессов в системах произвольной материальной природы. Если достаточно широко понимать основные ключевые слова – «изменчивость», «наследственность» и «отбор», то можно выработать весьма гибкие средства описания самых различных процессов самоорганизации материн – средства, позволяющие увидеть то общее содержание, которое присуще любым процессам развития, в том числе и общественным.

Теперь я попытаюсь построить классификацию принципов отбора и рассмотреть с единой точки зрения его механизмы. В практическом отношении это напоминает попытку Ампера дать классификацию наук. Для подобной классификации, может быть, еще и не настало время. Поэтому я сужу свою задачу и постараюсь выделить лишь два существенно-разных класса механизмов отбора. Эта задача мне представляется необходимой и выполнимой.

К первому классу я отнесу «адаптационные» механизмы. Это прежде всего, конечно, дарвиновские механизмы естественного отбора. Но подобные механизмы встречаются и в физике, и в химии, и в технике. Важную роль они играют и в общественной жизни. Основная их особенность состоит в том, что они позволяют нам в принципе предвидеть (конечно, с определенной точностью) развитие событий – прогнозировать его. Это происходит потому, что адаптация – это самонастройка, обеспечивающая развивающейся системе устойчивость (стабильность) в данных конкретных условиях внешней среды. Значит, изучая эти условия, т. е. особенности среды, мы можем предвидеть (предсказать) тенденции в изменениях основных параметров системы, которые будут происходить под действием этих механизмов. Другими словами, мы оказываемся способными заранее определить множество состояний (совокупность параметров) системы, которые будут обеспечивать ее устойчивость при данных условиях внешней среды. Этим обстоятельством уже давно пользуются селекционеры.

Что же касается физики и техники, то механизмы, обеспечивающие самонастройку системы, уже в течение многих лет являются объектом исследований специалистов по проблемам управления. Сегодня наука обладает достаточно развитой математической теорией систем, способных к адаптации. Поэтому, если мы в состоянии построить математическую модель системы и механизма ее самонастройки и располагаем достаточно полной информацией о свойствах окружающей среды, то, используя указанную теорию, мы сможем не только предсказать тенденции, как это делают селекционеры, но и дать с определенной точностью количественную характеристику развивающихся событий. Простейшие модели подобных механизмов широко используются в технике, биотехнологиях, при изучении динамики популяций и т. д. Зная достаточно хорошо внешние условия и их прогноз, а также те объективные законы, которые управляют развитием системы, мы можем быть уверены, что с помощью механизмов адаптационного типа развивающаяся система не обретет никаких новых, неожиданных свойств. Механизмы подобного рода позволяют параметрам системы изменяться лишь в достаточно ограниченных пределах. И эти пределы во многих случаях можно определить заранее.

Сформулированные утверждения отвечают практическому опыту людей. Тысячелетиями человек вел направленный искусственный отбор – селекцию растений и животных, адаптируя их к своим потребностям. И при этом ничего принципиально нового он не получил. Как бы ни были отличны по своему внешнему виду многочисленные породы собак, они по-прежнему остаются собаками, принадлежат к одному и тому же виду.

Наверное, можно сказать и так: ни внешние возмущения, ни внутренние пертурбации не способны с помощью адаптационных механизмов вывести систему за пределы того «обозримого канала эволюции», того коридора, который заготовила природа для развития этой системы. При действии механизмов адаптационного типа границы этого коридора, очерченные объективными законами нашего мира, достаточно близки друг к другу и достаточно обозримы в перспективе. Следовательно, путь развития в этом случае предсказуем со значительной точностью. Такая характеристика механизмов адаптационного типа может быть принята в качестве их определения.

Но существует и иной тип механизмов развития. Он имеет уже совершенно другую природу, хотя, как мы это увидим ниже, и для него дарвиновская триада полностью сохраняет свой смысл. Для иллюстрации этого типа механизмов рассмотрим течение жидкости в трубе.

Пока расход жидкости мал, ее течение носит ламинарный характер – оно следует закону Пуазейля: частицы жидкости движутся параллельно оси трубы, а эпюра скоростей имеет параболический характер. Чтобы протолкнуть этот расход жидкости сквозь трубу, требуется определенное усилие. Оно определяется разностью давлений в различных сечениях трубы. С ростом расхода эта разность до поры до времени будет расти по линейному закону, а эпюра скоростей будет сохранять свой параболический характер. Но достаточно потоку превзойти некоторый критический порог, как характер движения качественно изменится. Ламинарное течение перестраивается – оно превращается в турбулентное. Разность давлений при этом начинает быстро возрастать. Иными словами, существует некоторое критическое значение внешнего воздействия, определяемое величиной расхода. Выше этого значения прежняя (ламинарная) форма движения жидкости существовать не может (старая организация системы разрушается). Вместо ламинарного движения жидкости возникает турбулентное.

Этот пример достаточно поучителен. Он показывает, что организация системы обладает пороговыми состояниями, переход через которые ведет к резкому качественному изменению протекающих в ней процессов, к изменению самой ее организации. Более того, в этом и аналогичных случаях переход от старой организации системы к новой неоднозначен, т. е. возможно целое множество различных новых форм организации. Поясним это более простым примером решения задачи Эйлера о нагруженной колонне. После того как вертикальная форма равновесия колонны потеряет устойчивость, возникает целый континуум новых форм равновесия – они заполняют поверхность вращения, образующая которой представляет собой полуволну синусоиды. Смена форм равновесия происходит тогда, когда нагрузка на колонну превзойдет некоторое критическое значение. Что особенно важно в описанной ситуации – так это то, что мы не можем предсказать, какая именно новая форма равновесия будет реализована. Мы этого не знаем и не можем знать принципиально, поскольку будущая реализация зависит от случайных воздействий (например, порывов ветра), которым подвергается колонна в тот момент, когда внешняя нагрузка превосходит критическое значение.

Вот эта неопределенность будущего и есть главная особенность рассматриваемого типа механизмов. Она есть следствие того, что будущее состояние системы при переходе ее характеристик через критическое (или пороговое) значение определяется прежде всего флуктуациями. А они присутствуют всегда. И то, около какого из континуума возможных состояний равновесия будет колебаться колонна при закритических величинах нагрузки, зависит от непредсказуемого порыва ветра! То же мы видим и в примере смены ламинарного течения жидкости турбулентным: мы лишены возможности предсказывать какие-либо детали турбулентности, хотя в условиях ламинарного течения мы точно знаем траектории всех жидких частиц. Мы не можем определить, как возникло данное турбулентное состояние потока, какое состояние предшествовало наблюдаемому. Можно сказать, что система не

«помнит своего прошлого», если она испытала в своем развитии бифуркацию, т. е. разветвление путей эволюции при переходе через пороговое состояние своей организации.

Пороговые (или бифуркационные) механизмы свойственны не только миру «косной» материи. Но их проявление в процессах биологической и общественной природы значительно более сложное. Вот почему, выбирая иллюстративные примеры, характеризующие их особенности, я следовал такому высказыванию В. И. Вернадского: «Поэтому вполне позволительно и удобно воспользоваться и здесь (т. е. в биологии. – *Н. М.*) аналогией между живым веществом и газовой массой»⁷.

Рассуждения о механизмах, которые были приведены выше, разумеется, достаточно условны и схематичны. Реальные процессы развития – это всегда целая гамма различных механизмов. Тем не менее приведенные рассуждения достаточно наглядны, чтобы можно было представить себе основные черты единого процесса развития.

Законы физики, химии и другие принципы отбора устанавливают определенные границы изменения состояний системы, так сказать, «каналы», внутри которых могут протекать процессы эволюции системы. В свою очередь, множество случайных факторов как бы пытается все время нарушить эти границы, изменить организацию системы. Если ее параметры и состояния не выводятся из предначертанных рамок, механизмы развития носят адаптационный характер. Границы адаптации, т. е. границы этих «каналов», могут быть определены в том случае, если мы достаточно хорошо знаем законы, управляющие развитием.

Но в силу тех или иных причин система может однажды выйти на пересечение «каналов» адаптационного развития. И тогда вступают в действие иные механизмы, которые мы называли, следуя А. Пуанкаре, «бифуркационными».

Кстати, термин «бифуркация» в последнее время (после работ Уитни и Р. Тома) все чаще стали заменять термином «катастрофа». Поэтому «бифуркационные» механизмы мы можем, следуя современной терминологии, переименовать в «катастрофные».

Итак, на перекрестке «эволюционных каналов» происходит «катастрофа». Характер развития качественно меняется. Возникает несколько новых и различных вариантов развития (эволюции). Этих вариантов столько, сколько новых «каналов» выходит на «перекресток». И что самое главное в характеристике бифуркационного механизма – это неопределенность путей дальнейшего развития: по какому из возможных «каналов эволюции» пойдет дальнейшее развитие, какова будет новая организация системы – это предсказать невозможно! Невозможно в принципе, ибо окончательный выбор пути обуславливается случайным характером неизбежно присутствующих возмущений.

Выделение механизмов адаптации и катастроф позволяет не только дать новую интерпретацию процессов развития. Оно позволяет сделать наглядным один принцип, имеющий важнейшее значение для понимания процессов самоорганизации вообще и эволюции живого мира в частности. Этот принцип носит название принципа дивергенции – расхождения (или размножения) новых форм организации (метафора – ветвящееся дерево). Покажем, что этот принцип является прямым следствием механизмов бифуркационного типа.

Выше мы уже говорили о том, что именно эти механизмы ответственны за неопределенность процесса развития. Как расшифровать подобное утверждение?

Законы природы ограничивают множество возможных (виртуальных, мысленно допустимых) состояний материального мира и форм его организации, которые я условно назвал «каналами эволюции». Подчас берега этих «каналов» могут быть очень близкими – поддержание большинства химических реакций или сохранение гомеостаза некоего вида возможно только в очень узком диапазоне изменения параметров внешней среды. Однако стохастический характер причинности может с помощью бифуркационных механизмов развести сколь угодно близкие, практически тождественные формы организации в совершенно разные стороны. Этот факт – один из основных источников «некорректностей», которые мы

непрерывно наблюдаем в окружающем мире. Его легко интерпретировать на простом опытном материале.

Предположим, что две совершенно одинаковые круглые колонны находятся под действием одинаковых вертикальных нагрузок. Кроме того, на них действуют случайные порывы ветра. Эволюционные процессы каждой из них определяются непосредственным и одинаковым увеличением указанных нагрузок. Значит, у обеих колонн нагрузки достигают порогового значения одновременно. Однако, поскольку порывы ветра никогда не бывают строго идентичными, после потери устойчивости вертикальной формы равновесия новые равновесные формы у обеих колонн будут разными. Это значит, что колебания колонн после бифуркации будут происходить в разных «каналах», в данном случае в разных плоскостях. Вероятность того, что при новой бифуркации равновесные положения колонн совпадут, равна, очевидно, нулю.

С увеличением размерности системы – что всегда бывает при увеличении ее сложности – количество состояний, в которых могут происходить катастрофы, быстро возрастает. Следовательно, чем сложнее система, тем больше вероятность увеличения числа возможных путей ее эволюции (т. е. дивергенции), а вероятность появления двух развивающихся систем в тождественных эволюционных каналах практически равна нулю. Это и означает, что процесс развития (самоорганизации) ведет к непрерывному росту разнообразия форм.

Заметим, что этот вывод о непрерывном усложнении организационных форм касается не только живого вещества. Он справедлив и в неживом мире (о чем мы только что говорили) и сохраняет силу и при переходе к анализу общественных форм организации материн (о чем мы будем говорить позднее).

Примечание. Среди биологов существуют сторонники и другой точки зрения. Например, последователи академика Л. С. Берга утверждали возможность конвергенции, т. е. «схождения», форм. Дискуссии о дивергенции и конвергенции среди биологов не прекращаются и в настоящее время. Мне кажется, что факт существования механизмов бифуркационного типа и установление роли флуктуации в известном смысле закрывают эти дискуссии: ведь вероятность появления идентичных форм организации в процессе развития равна 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 машиностроительных заводов может копировать соответствующую структуру американских предприятий и т. д.

Итак, выше мы сделали попытку использовать дарвиновскую терминологию (естественно, при существенном расширении ее содержания и смысла, принятого в биологии) для описания процессов различной природы. Предложенный подход отражает необходимость выработки общего языка, нужного для дальнейшего расширения фронта исследований системного, междисциплинарного характера.

Создание общенаучного языка описания процессов развития не только облегчает объединение специалистов различного профиля для решения общих задач, но и имеет определенное методологическое, мировоззренческое и эвристическое значение. Возможности аналогий, которые он открывает, имеют немаловажное значение для совершенствования интуиции исследователя.

3. Структура организации и обратные связи

Среди понятий, которые используются для обсуждения проблем самоорганизации и развития, важное место занимают понятия структуры и организации. Изучая конкретные процессы развития, мы не можем ограничиться только общефилософским определением этих понятий, а нуждаемся в их конкретизации, тем более что теория организации уже достаточно давно существует как самостоятельная дисциплина с собственными методами и принципами.

Основателями этой теории, которые работали независимо друг от друга, можно считать известного кристаллографа Е. С. Федорова и врача, физиолога и известного общественного деятеля А. А. Богданова. Первый обратил внимание на то, что разнообразие архитектурных форм вещества значительно беднее разнообразия материала, участвующего в природных процессах. Это делало содержательным выделение структуры вещества как самостоятельного объекта исследований. Е. С. Федоров провел такое исследование на кристаллах. Оказалось, что независимо от химического состава вещества, способного к кристаллизации, существует лишь вполне определенный набор кристаллических структур. Е. С. Федоров дал его полное описание (закон Федорова).

Если для Е. С. Федорова наиболее важным было изучение структуры кристаллов, а соображения общесистемного характера были у него, так сказать, «побочным» продуктом исследований, то А. А. Богданов стремился исследовать прежде всего именно общие принципы организации материального мира. Теория Е. С. Федорова заложила основы статики в теории организации, т. е. изучения стабильных структурных форм. Теория А. А. Богданова ставила своей целью изучение динамики организационных форм, т. е. изучение характера их изменения под действием внешних и внутренних факторов. Иными словами, если Е. С. Федоров рассматривал организацию как неизменное свойство, присущее данному объекту, то А. А. Богданов на обширном материале из разных областей естествознания и обществоведения показывал существование закономерностей в изменении организационных структур, общих для явлений самой разной природы.

Однако ни Е. С. Федоров, ни А. А. Богданов не дали четкого определения организации, считая его, по-видимому, одним из исходных понятий. Мне представляется, что А. А. Богданов считал понятие организации неотделимым от понятия материи: любой материальный объект обладает определенной организационной структурой, любой процесс всегда протекает в рамках определенной организации, а само это понятие всегда связано с определенным материальным носителем.

С конца прошлого века математики начали заниматься проблемами, которые по своему существу очень близки теории организации. Это прежде всего некоторые области топологии и качественной теории дифференциальных уравнений. Я думаю, что благодаря усилиям математиков, работавших в этих областях, уже начал формироваться математический инструментарий теории организации. Начало всем подобным качественным исследованиям было положено А. Пуанкаре⁸.

Значение математических методов в теории организации стало особенно наглядным в последние годы, когда были обнаружены удивительные свойства «универсальности» систем различной природы, испытавших многократные бифуркации. Изученные сначала на относительно простых явлениях, таких, например, как отображение отрезка в себя, они, как оказалось, свойственны и процессам неизмеримо более сложной природы⁹. Конечно, бессмысленно говорить об организации, не называя ее материального носителя. Но ведь похожая ситуация возникла и после открытия общей теории относительности. Теперь трудно оспаривать, что пространство вне времени, вне связи с распределением вещества и изучения и

характером их движения есть некая фикция, некая абстракция. Но это вовсе не означает, что нельзя изучать свойства и особенности того же пространства, той же организации самих по себе. Изучение таких абстракций чрезвычайно важно для науки и составляет основу целого ряда теоретических дисциплин (и не только теоретических!). 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 особенно в изучение физических свойств тех материалов, из которых построены те или другие шедевры зодчества, и изучаем их архитектурные формы, мало беспокоясь о том, как используются здания.

Подобный путь формирования и использования абстракций традиционен для науки – это один из важнейших способов познания. Вот почему теорию организации А. А. Богданова¹⁰ оправданно считать фундаментом 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, что такое организация. Во всяком случае, объясним тот смысл, который мы будем вкладывать в это слово.

Любой процесс может быть описан в терминах состояния. Это могут быть фазовые переменные, относящиеся к конечномерным объектам, или функции (в том числе и функции распределения), если речь идет об объектах континуальной или стохастической природы. К числу характеристик состояния относятся также функционалы, зависящие от фазовых переменных. Все переменные состояния так или иначе изменяются во времени. И в каждом конкретном случае можно говорить о характерных временах их изменения, измеренных некоторым временеподобным масштабом, являющимся характеристикой целей исследования.

Описание процесса изменения состояний – это и есть, с точки зрения математика или физика, описание процесса эволюции или развития изучаемого объекта. И в таком контексте понятие организации кажется, вообще говоря, ненужным – без него вроде бы можно и обойтись. Однако в процессе исследования 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. С этих же позиций можно изучать и организацию живого мира, и общественные структуры, определяя каждый раз те характеристики эволюционного процесса, которые мы будем относить к организации. Например, в теории динамических систем под организацией естественно понимать топологию ее фазовых траекторий, структуру аттракторов и т. д. В процессе исследования мы следим за изменением организации системы, изучаем условия ее коренной перестройки. С помощью такого языка часто оказывается возможным описать более наглядно те или иные свойства механизмов бифуркационного типа, поскольку именно в точках катастрофы и происходит резкое изменение организации.

Понимание главного содержания процесса самоорганизации материи как изменения ее организации позволяет описать процессы развития систем 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 окружающем мире, 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 каким-либо образом определяется временной интервал, в пределах которого изучается тот или иной объект, – например, глу-

бина прогноза погоды или количество жизненных циклов популяции. Определение подобного интервала является важнейшей характеристикой исследования, определяющей цель исследователя.

Но если в любом исследовании всегда присутствует некоторый характерный интервал времени, то по отношению к нему мы можем провести (и всегда проводим) некоторое ранжирование или классификацию отдельных процессов. Например, в ряде случаев можно изучать функционирование объектов, считая их организацию неизменной, как в задаче об исследовании механических свойств кристалла. Это будет один вариант асимптотических теорий. В других случаях можно лишь игнорировать детали некоторых быстропротекающих явлений. Это будет другой тип асимптотических теорий. Поясним сказанное на примере анализа изменения характеристик климатических процессов.

Говоря о погоде, мы имеем в виду характерные времена порядка нескольких Дней. И для ее изучения важнее всего структура атмосферной циркуляции – распределение фронтов, характер циклонов и т. д. На фоне этой «организации» погоды мы изучаем ее видимые детали: где и когда выпадут осадки; каков будет суточный ход температуры; чему будет равна максимальная скорость порывов ветра и т. д. Если же речь идет об анализе долговременного климатического процесса, о его зависимости от астрономических факторов, например, то динамика отдельных циклонов отступает на второй план. Зато появятся новые характеристики: особенности динамики океанических масс, структуры энергообмена «океан – атмосфера», изменение альбедо и ряд других, которые в «чисто погодных» исследованиях считаются 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.

Остановимся еще на двух особенностях эволюции, теперь уже – живой материи, особенностях, которые будут играть важную роль в последующем изложении.

Сегодня получил широкое распространение термин «гомеостазис». Он означает, в частности, что любому живому существу свойственно стремление к самосохранению или стабильности организма. Многие считают – и я долго разделял эту точку зрения, – что отрицательные обратные связи, которые поддерживают состояние гомеостазиса, как раз и есть та основная особенность, которая отличает все живое от неживого: живое всегда стремится сохранить свою стабильность. Но, видимо, это распространенное мнение не вполне точно. В самом деле, с одной стороны, например, принцип Ле Шателье, справедливый для неживой материи (он является следствием законов сохранения), можно трактовать как «стремление» сохранить гомеостазис. С другой стороны, некоторые прокариоты и вирусоподобные существа, которых мы относим, естественно, к представителям живого мира, по-видимому, лишены способности формировать петли обратной связи. Не вдаваясь здесь в обсуждение этих трудных и спорных вопросов, мы тем не менее можем утверждать, что стремление к гомеостазису, к сохранению собственной стабильности, стабильности рода, популяции всегда было одним из мощнейших факторов эволюции, фактором, который оказывал 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 противоречит принципу 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 организационных форм. А эти тенденции неизбежно будут формировать механизмы не только отрицательных, но и положительных обратных связей. Одна из таких тенденций порождается, видимо, принципом минимума диссипации энергии, о котором уже шла речь в этой главе. Мы говорили о том, что этот важнейший принцип отбора может быть распространен и на живые системы, а также предложили его расширенную формулировку. Обобщенный принцип минимума диссипации – это такое же эмпирическое обобщение, как и принцип сохранения гомеостазиса.

Живые системы – это открытые системы, поскольку им свойствен метаболизм, т. е. обмен энергией и веществом с окружающим миром. И одной из ведущих тенденций их развития является стремление в наибольшей степени использовать энергию внешней среды, уменьшая тем самым свою локальную энтропию. Этот факт – 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 и быстро развивающиеся, «прогрессивные» формы эволюции, какой является, например, человек, и формы более стабильные, развивающиеся значительно медленнее и даже практически остановившиеся в своем развитии, вроде термитов или муравьев¹¹.

Таким образом, важнейшей особенностью эволюционного процесса является противоречивое взаимодействие тенденций двух различных типов – тенденций к стабильности, нуждающийся в укреплении отрицательных обратных связей, и тенденций поиска новых, более рациональных способов использования внешней энергии и вещества, необходимо требующих формирования положительных обратных связей и ограничения стабильности. Способы разрешения этих противоречий, т. е. структуры возникающих компромиссов, могут быть самыми различными. И это обстоятельство тоже в значительной степени ответственно за разнообразие организационных форм материального мира.

4. Об одной интерпретации 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, в каждом из которых яснее проявляются те или иные особенности изучаемого явления. Понимание, необходимое человеку в его практической деятельности, требует рассмотрения предмета с разных позиций. Проблема понимания – это вечная проблема. Она стоит перед философией и другими науками со времен древних греков и носит не только идеологический, но и психологический характер. И сформулированный тезис Бора достаточно общепринят: вопросы интерпретации всегда занимают в любой научной дисциплине весьма важное место. Интерпретация особенно нужна при изучении проблем развития, где разнообразие материала делает становление понимания 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. В 1744 г. французский математик и физик Мопертьюи обратил внимание на то, что законы Ньютона допускают вариационную формулировку. Другими словами, он показал, что движение, совершающееся по законам Ньютона, обеспечивает экстремальное значение некоторым функционалам. Будучи сыном своего века, он придал этому факту определенный телеологический смысл. Позднее появилось много других вариационных принципов: принцип наименьшего действия Гаусса, принцип Гамильтона – Остроградского, принцип виртуальных перемещений и т. д. Сначала вариационные принципы были открыты в механике, а затем в электродинамике и в других областях физики. Оказалось, что все основные уравнения, с 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 проявлений некоторой высшей целесообразности. Даже в 30-х годах XX в. еще шли дискуссии по поводу вариационных принципов, причем они носили подчас 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 описывают законы 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 них этот функционал достигает своих экстремальных (или стационарных) значений. Этот чисто математический результат имеет глубокий философский смысл. В самом деле, живи мы в другой Вселенной с другими законами физики, все равно там были бы свои вариационные принципы, а значит, и своя «высшая целесообразность».

Вариационная формулировка законов сохранения – это одно из главных эмпирических обобщений физики. Однако законы сохранения не исчерпывают всех принципов отбора, которые выделяют реальные движения из множества мыслимых. Вместе с тем оказывается, что и другим законам и ограничениям всегда можно придать оптимизационную формулировку. Особенно просто это сделать, если использовать способы описания, принятые в теории исследования операций¹². Пусть, например, движение материальной субстанции ограничено кинематическим условием непроницаемости преграды:

$$(v_n)_\Gamma = 0,$$

где v_n – скорость частиц субстанции, перпендикулярная Γ – некоторой поверхности, ограничивающей область пространства, допустимую для движения. Это условие можно переписать в следующем виде:

$$w(x) \Rightarrow \min,$$

где $w(x)$ есть некоторый функционал, зависящий от фазовых переменных x . Его можно задать, например, в такой форме:

$$w(x) = \begin{cases} +1, & \text{если } (v_n)_\Gamma \neq 0, \\ -1, & \text{если } (v_n)_\Gamma = 0, \end{cases}$$

Переформулировка ограничения в вариационной форме, т. е. в форме требования экстремума для некоторого функционала, может быть произведена бесчисленным количеством способов.

К числу принципов отбора, допускающих оптимизационную постановку, относятся также принципы Онсагера и Пригожина.

Таким образом, движение неживой материи мы всегда можем описать в терминах многокритериальной задачи оптимизации:

$$w_1 \Rightarrow \min; \quad w_2 \Rightarrow \min; \quad w_3 \Rightarrow \min \dots, (+),$$

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 Ω_1 множество экстремальных значений функционала w_1 . Тогда задача $w_2 \Rightarrow \min$ будет иметь смысл, если мы будем, например, разыскивать минимальное значение функционала w_2 на множестве Ω_1 и т. д. Таким образом, множество функционалов должно быть упорядоченным, а пересечение множеств Ω_i , минимальных значений функционалов w_i – непустым. Тогда требование (+) определит некоторое множество допустимых состояний w . Это множество и является ареной развивающихся событий.

При описании явлений неживой природы функционалы w_i действительно всегда ранжированы, причем первое место принадлежит законам сохранения. Различные связи – голономные, неголономные – и любые другие ограничения имеет смысл рассматривать лишь для тех систем, для которых выполнены законы сохранения. Среди всех таких ограничений особое место для открытых систем занимает принцип минимума роста энтропии (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 рамках описанной схемы можно дать следующую интерпретацию процессов, протекающих в неживой природе. Тенденции к разрушению организации и развитию хаоса, т. е. повышению энтропии, противостоят ряд противоположных тенденций. Это прежде всего законы сохранения. Но не они одни препятствуют разрушению организации. Принцип мини-

му диссипации энергии не только отбирает из тех движений, которые допускаются законами физики (т. е. им не противоречат), «наиболее экономные», но и служит основой «метаболизма», т. е. содействует процессу возникновения структур, способных концентрировать окружающую материальную субстанцию, понижая тем самым локальную энтропию. Так, в стохастической среде, способной порождать 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 w_3 , характеризующего рост энтропии. Эти области возможных состояний оказываются «областями притяжения», в которых 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.

Картина, описанная для процессов, протекающих в «косном» веществе, принципиально усложняется на уровне живой природы, ибо здесь появляется тенденция (несводимая к законам физики) к самосохранению, т. е. стремление сохранить гомеостазис. Эта тенденция также может быть формализована совокупностью условий, каждое из которых допускает вариационную форму:

$$\Phi_i(x) \Rightarrow \min; \quad i = 1, 2, 3, \dots$$

Однако по отношению к функционалам Φ_i , природа уже не дает правил их автоматического ранжирования. В игру вступает новый фактор — естественный отбор. Значение функционалов Φ_i , определяющих гомеостазис в данных конкретных условиях обитания, различно с точки зрения обеспечения гомеостазиса. Для каждого живого существа возникает свой «оптимальный» способ поведения, т. е. ранжирования функционалов Φ_i . Естественный отбор отбирает тех представителей, которые лучше других «умеют» 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 сам определяет некоторый функционал π , и существует некоторое оптимальное «поведение» x , такое, что

$$\min_x \pi(x) \Rightarrow \pi(\hat{x}).$$

При этом в отличие, например, от функционала действия живое существо вовсе не обязано реализовывать «поведение» x . Однако чем ближе будет его поведение к x , тем лучше живое существо будет приспособлено к окружающей среде и тем больше у него шансов выжить в данных условиях.

Живая система (например, популяция) существует в среде обитания, параметры которой испытывают непрерывные изменения. Это значит, что меняется и характер упорядоченности множества функционалов $\{\Phi_i\}$. Таким образом, для живого мира на множество функционалов, определяющих гомеостазис того или иного вида, уже нет однозначной, раз и навсегда определенной упорядоченности, которая существует, как мы это видели, на множестве функционалов $\{w_i\}$, т. е. на множестве «законов физики». В живом мире вступают в действие адаптационные механизмы, требующие непрерывной «переранжировки» элемен-

тов множества $\{\Phi_i\}$. Живой организм, как это показал великий русский физиолог И. П. Павлов, приобретает систему рефлексов – условных и безусловных.

Используя язык многокритериальной оптимизации, который был введен в этом параграфе, мы можем сказать, что выработка рефлексов производит необходимую ранжировку функционалов Φ_i и устанавливает алгоритмы их локальной оптимизации. (В теории управления системы, обладающие четким алгоритмом обратной связи, называют 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 развивающейся системы, происходящее под действием естественного отбора, – это тоже результат действия подобных механизмов. И каждый раз такие механизмы отыскивают некоторый локальный минимум. Этот факт позволяет дать определение адаптационных механизмов на языке теории исследования операций: механизмы, реализующие алгоритмы поиска локальных экстремумов без прогноза изменений внешней среды, т. е. лишь по информации об окружающей обстановке, полученной в данный момент, мы и будем называть адаптационными механизмами.

Ракурс, который нам дает теория исследований операции, позволяет увидеть и особую роль механизмов бифуркации в развитии материн. Используя язык этой теории, мы могли бы сказать, что бифуркационные механизмы в отличие от механизмов адаптационного типа осуществляют нелокальную оптимизацию. То, что начинает происходить в природе, когда вступает в действие бифуркационный механизм, можно уподобить ситуации, в которой вычислитель, работая с диалоговой системой оптимизации, время от времени при решении сложной задачи отступает от использования локальных алгоритмов типа наискорейшего пуска. Так он поступает всякий раз, когда используемый алгоритм «зацикливается», т. е. когда последующие итерации с помощью этого алгоритма перестают совершенствовать систему, т. е. приближать нас к точке минимума. В этом случае опытный вычислитель, как правило, переходит на метод Монте-Карло или какой-нибудь другой метод нелокального спуска.

Изучение алгоритмов развития живых систем показывает, что здесь существенно изменяется и роль принципа минимума диссипации энергии по сравнению с его ролью в эволюции неживой природы. В самом деле, в живых системах речь уже не идет о росте энтропии – наоборот, здесь возникают формы, обладающие способностью уменьшать локальную энтропию. Метаболизм – поглощение свободной энергии и вещества – становится основой развития живых систем. Из принципа, который действует лишь тогда, когда другие принципы отбора не выделяют единственной траектории развития процесса, протекающего в неживом веществе, он превращается в тенденцию, свойственную любой живой системе, – тенденцию максимизировать локальное уменьшение энтропии за счет метаболизма.

Изучение особенностей самоорганизации живой природы показывает, что вместе с усложнением организации живых систем происходит нарастание противоречий между их стремлением к сохранению гомеостазиса, стабильности и тенденций максимизировать эффективность поглощения и использования внешней энергии и вещества. По-видимому, всю историю развития жизни на Земле можно было бы изложить на языке многокритериальной оптимизации. Не исключено, что разрешение противоречий между этими двумя основными 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. Во всяком случае, история антропогенеза показывает, что подобная гипотеза не лишена определенных оснований.

Итак, эволюция живого мира может изучаться под тем углом зрения, который свойствен теории исследования операций, главной задачей которой является изучение компромиссов: тогда наблюдаемое состояние той или иной системы – я имею в виду живые системы

– оказывается всякий раз некоторым компромиссом. Заметим, что отыскание таких компромиссов происходит без участия интеллекта – принципы отбора сами формируют те механизмы, которые находят эти стихийные «алгоритмы эволюции». Совсем иначе складывается ситуация на социальном уровне организации материи.

Здесь ранжирование функционалов Φ_i , определяющих условия гомеостазиса, и формирование их свертки становятся прерогативой интеллекта. Поскольку те или иные предположения, которые определяют поведение людей, являют собой субъективное представление о способах обеспечения социальной стабильности (на уровне индивида, рода, племени и т. д.), здесь субъективный фактор начинает играть все большую и большую роль. Теперь именно та неопределенность, которую он порождает, заменяет в ряде случаев природную стохастичность, необходимую для развития эволюционного процесса. Изменчивость теперь в значительной степени определяется различиями в целях и в представлениях о путях их достижения. 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 радикальным образом изменяется. Более того, говоря об общественных формах движения, мы должны существенным образом изменить 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 система не подвержена действию неизвестных нам сил, случайностям и неопределенностям. Все дело в том, что в процесс развития включается человеческий интеллект. Дальнейшее разворачивание этого процесса определяется тем выбором, той ранжировкой функционалов, если пользоваться нашим языком, которую делает человек. А предусмотреть действия людей отнюдь не просто: в одних и тех же условиях два разных человека часто принимают совершенно различные решения. Отсюда и возникает неединственность и неопределенность возможных продолжений процесса развития в каждый момент времени. Другими словами, каждое состояние социальной системы является бифуркационным. Именно это обстоятельство приводит к резкому ускорению всех процессов самоорганизации общества. По мере развития научно-технического прогресса и производительных сил организованные основы общества начинают изменяться во всевозрастающем темпе.

Заметим, что язык оптимизации (т. е. отыскания экстремальных значений некоторых функционалов или функций), 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 процессах развития позволяет расширить область поиска оптимума. Системы перестают быть рефлексными, т. е. такими, в которых локальный минимум разыскивается по четко регламентированным правилам. Поэтому для описания новых алгоритмов развития, возникших в социальных системах, простого языка оптимизации становится уже недостаточно. Мы вынуждены широко использовать и 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 завладеть источниками энергии и вещества было одним из важнейших стимулов развития. И вместе с тем оно всегда было причиной конфликтов.

Но по мере разворачивания научно-технического прогресса, по мере истощения земных ресурсов все более утверждается новая тенденция – стремление к экономному расхо-

дованию этих ресурсов. Возникают, в частности, безотходные технологии. Преимущественное развитие получают производства, требующие небольших затрат энергии и материалов (это прежде всего электроника). На протяжении всей истории человечества темпы развития энергетики опережали темпы развития других отраслей производства. Теперь они начинают выравниваться.

Способность использовать свободную энергию и другие ресурсы планеты практически всегда определяла исход конфликтов между социальными организмами и их организационными структурами, а также отбор таких структур. По-видимому, так будет и в дальнейшем. 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 формировать алгоритмы развития.

5. О принципах минимума диссипации

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

Мое утверждение, касающееся процессов, протекающих в мире «косной» материи, было следующим: если множество возможных устойчивых (стабильных) движений или состояний, удовлетворяющих законам сохранения и ограничениям, состоит более чем из одного элемента, т. е. они не выделяют единственного движения или состояния, то заключительный этап отбора, т. е. отбора реализуемых движений или состояний, которые также могут и не быть единственными, определяется минимумом диссипации энергии (или минимумом роста энтропии).

Именно это утверждение я и назвал «принципом минимума диссипации». Оно не является строгим утверждением, подобно принципам механики. Это всего лишь предположение, но достаточно правдоподобное и не противоречащее экспериментальному материалу. Кроме того, оно позволяет получать весьма полезные результаты для практики. Приведем один пример, иллюстрирующий его применение.

Рассмотрим установившееся движение по трубе смеси двух жидкостей разной вязкости, но одинаковой плотности. Коэффициент вязкости смеси этих жидкостей η будет зависеть от их процентного соотношения. Обозначим через c концентрацию более вязкой жидкости. Рассматриваемое течение моделирует движение суспензии, представляющей собой жидкость со взвешенными в ней частицами, когда их характерный размер очень мал – в десятки раз меньше диаметра трубы. В этом случае, как это известно из многочисленных экспериментов¹³, в узкой зоне около стенок трубы взвешенные частицы отсутствуют. Это явление носит название пристеночного эффекта. Его аналитическое исследование было проведено Ю. Н. Павловским¹⁴.

Движение смеси двух жидкостей одинаковой плотности и разной вязкости можно интерпретировать как движение некоей вязкой жидкости, подчиняющейся уравнению Навье – Стокса, – жидкости, концентрация которой может быть некоторой функцией расстояния от центра трубы:

$$c = c(R).$$

Если считать количество жидкой субстанции и градиент давления вдоль оси трубы заданными величинами, то для каждого распределения $c(R)$ мы можем построить свое течение Пуазейля, причем расход Q будет зависеть от характера функции $c(R)$.

Поставим вопрос: какой должна быть функция $c(R)$, которая максимизирует величину расхода Q при заданных перепаде давления вдоль оси трубы и процентном содержании в смеси более вязкой жидкости, т. е. какова должна быть функция $c(R)$, которая минимизирует долю кинетической энергии жидкости, переходящую во внутреннюю энергию в результате действия сил вязкости?

Ю. Н. Павловский показал, что функция $c(R)$, удовлетворяющая этому требованию, такова, что всегда около стенки трубы существует некоторый интервал, зависящий от перепада давлений и количества более вязкой жидкости в единице объема смеси, внутри которого $c(R) = 0$.

Таким образом, течение, удовлетворяющее минимуму диссипации энергии, обладает пристеночным эффектом. Обратное утверждение строго доказать не удастся – оно всего лишь не противоречит экспериментальному материалу. Нетрудно привести еще серию примеров, показывающих, как, используя принцип минимума диссипации, можно объяснить целый ряд наблюдаемых явлений.

Итак, опытные данные показывают, что существует определенный класс явлений в неживом веществе, для которых принцип минимума диссипации энергии оказывается одним из важных принципов, позволяющих выделить реальные состояния из множества виртуальных. На этом основании в предлагаемой книге и был сформулирован и использовался этот принцип – как некоторое эмпирическое обобщение, как некоторая гипотеза. Именно в такой форме он и был внесен в иерархию принципов отбора. Он играл роль «замыкающего принципа отбора: когда другие принципы не выделяют единственного устойчивого состояния, а определяют некоторое целое их множество, то принцип минимума диссипации энергии служит дополнительным принципом отбора. Заметим, что среди неустойчивых движений могут быть и такие, которым отвечает меньшее производство энтропии. Однако из-за их неустойчивости мы их не наблюдаем.

Наше утверждение не только не является строгой теоремой, но и вряд ли оно может быть обосновано с традиционных позиций, согласно которым обоснование того или иного вариационного принципа сводится к доказательству того, что экстремалими минимизируемого функционала являются уравнения движения. В нашем случае мы определяем функционал уже на множестве функций, удовлетворяющих уравнениям движения. Мне кажется, что обсуждаемый факт связан с общим стохастическим фоном любого явления, случающегося в нашем мире.

Заметим, что, никогда специально не формулируя, мы всегда пользуемся еще одним подобным принципом – «принципом устойчивости», который также связан со стохастичностью нашего мира. Этот принцип я бы сформулировал так: множество реально наблюдаемых стационарных состояний включает в себя лишь устойчивые состояния. 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 возникли в механике и сыграли выдающуюся роль в ее развитии и создании эффективных численных и аналитических методов решения различных прикладных задач. В последующем вариационный подход широко использовался и при создании более сложных физических теорий. На этом пути очень важные результаты были получены еще в 1931 г. создателем неравновесной термодинамики Л. Онсагером, который сформулировал следующий вариационный принцип¹⁵: при постоянных условиях на границе некоторого объема V имеет место равенство

$$\delta \int_V (\sigma_s - \Phi) dr = 0, \quad (1)$$

где σ_s – производство энтропии, Φ – функционал рассеяния, а δ означает обычный символ варьирования. Из (1), как это показал Бёрёш¹⁶, могут быть выведены уравнения Навье – Стокса. В 1947 г. И. Р. Пригожиным для стационарных условий был получен другим путем принцип, который был назван им принципом минимума производства энтропии¹⁷:

$$\delta \int_V \sigma_s dr = 0. \quad (2)$$

Оказалось, что при изученных условиях принципы (1) и (2) эквивалентны. Этот факт установил И. Дьярмати¹⁸.

Работы Онсагера, Пригожина и их последователей имели своей Целью построение «классических» вариационных принципов, т. е. таких, из которых следовали бы законы сохранения, т. е. уравнения, описывающие движение среды. Другими словами, ими была сделана попытка построить принципы, носящие достаточно универсальный характер, такой, как и принципы механики. Однако для их вывода потребовалось сделать ряд серьезных предположений об особенностях изучаемых процессов (локальная обратимость, линейности в смысле Онсагера и т. д.). Благодаря этому развитие и использование принципов Онсагера и Пригожина для анализа прикладных задач столкнулись с целым рядом трудностей. Для того чтобы их проиллюстрировать, рассмотрим, следуя К. П. Гурову¹⁹, задачу о переносе тепла вдоль однородного стержня – классическую задачу, рассмотренную еще Фурье. В этом случае по теории Онсагера

$$\sigma_s = L \left(\nabla \frac{1}{T} \right)^2$$

и принцип минимума производства энтропии (2) дает нам

$$\delta \int_V L \left(\nabla \frac{1}{T} \right)^2 dr = 0. \quad (3)$$

Откуда, интегрируя по частям, находим

$$\delta \int_V \left(\nabla \frac{1}{T} \right)^2 dr = -2L \int_V \nabla \frac{1}{T} \delta \frac{1}{T} dr = 0.$$

И следовательно:

$$\nabla \left(\frac{1}{T} \right) = 0. \quad (4)$$

Но равенство (4) в общем случае не эквивалентно закону Фурье:

$$\Delta T = 0.$$

Отсюда вытекает, в частности, что процессы переноса тепла, удовлетворяющие закону Фурье, будут сопровождаться таким производством энтропии, которое не доставляет минимум функционалу

$$\int_V \sigma_s dr = \int_V L \left(\nabla \frac{1}{T} \right)^2 dr.$$

Вместе с тем И. Р. 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»²⁰. Он, как мы видим, рассматривает сформулированный принцип, известный как теорема Пригожина – Глейнсдорфа, в качестве весьма универсального принципа, управляющего самоорганизацией диссипативных систем. В то же время пример, который я привел, показывает сложности, возникающие при выяснении условий применимости принципа минимума роста энтропии. Вот почему в данной книге я придал иное содержание принципу «экономии энтропии». Принцип минимума диссипации не эквивалентен принципам Онсагера и Пригожина, не следует из них и рассматривается в моей работе в качестве эвристического утверждения, отвечающего тому, что мы наблюдаем в окружающем нас мире²¹.

До сих пор речь шла о неживой природе. В биоте проблема формулировки принципов отбора усложняется еще больше. Появляется стремление к сохранению гомеостазиса, которому отвечает представление об отрицательных обратных связях. Они, в свою очередь, являются некоторыми новыми принципами отбора, свойственными только живой природе. Но эти новые принципы действуют совершенно иначе, нежели принципы отбора в неживой природе. Так, законы сохранения массы или импульса не могут не выполняться. Ничему и никому ни при каких обстоятельствах не дано возможности нарушить их. Что же касается принципа стабильности (гомеостаза), то он проявляется как тенденция: живое существо стремится сохранить свою стабильность, но в принципе оно способно ее нарушить. При этом оно может погибнуть или выжить, но это уже другой вопрос. Таким образом, тенденция сохранения гомеостазиса, постоянно наблюдаемая у живых организмов, – это эмпирическое обобщение.

Точно так же и принцип минимума диссипации энергии проявляется в живом мире как некоторая тенденция. Эмпирический принцип переходит в эмпирическую тенденцию – любому живому существу свойственно стремление в максимальной степени использовать внешние энергию и вещество. Я думаю, что это очень важный синергетический принцип, управляющий процессами самоорганизации. И он не эквивалентен принципу сохранения гомеостазиса. Более того, в известных условиях первый может даже противоречить последнему. Я специально уже обсуждал эту проблему. Здесь заметим только, что с позиции представлений о самоорганизации разрешение возникающего противоречия вполне возможно: чтобы найти новые, более устойчивые состояния, живая система должна покинуть старое состояние, а это можно сделать только за счет внешних энергии и вещества и положительных обратных связей. Я думаю, что в живой природе описанное противоречие между тенденцией к локальной стабильности и стремлением в максимальной степени использовать внешние энергию и вещество является одним из важнейших механизмов отыскания новых форм существования материи.

Глава вторая

Память. Ее генезис в преддверии интеллекта

1. Возникновение генетической памяти и обратных связей

В предыдущей главе я изложил исходные принципы той методологии, которая должна лежать в основе глобального анализа: сама Земля и все, что на ней происходило вчера, происходит и сегодня и будет происходить завтра, суть следствия общего процесса саморазвития, самоорганизации материи, подчиняющегося единой системе законов (правил), действующих в нашем мире. Пользуясь терминологией, получившей сегодня распространение, мы можем сказать, что все наблюдаемое нами, все, в чем мы сегодня участвуем, – это лишь фрагменты единого мирового синергетического процесса. Его течение обусловливается законами, характерные времена изменения которых лежат за пределами доступных нам знаний, что позволяет нам 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, стабильные) структуры и создающих предпосылки для появления новых.

Несмотря на огромные успехи 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 «косным» веществом Земли. Мы знаем только, что около 3,5–4 млрд лет тому назад на Земле появилась качественно новая форма организации материи, которая обладает удивительной способностью усваивать внешнюю энергию, прежде всего энергию Солнца, с помощью реакции фотосинтеза¹. На этом этапе своего развития Природа нашла новый ряд состояний, которые обеспечивают материальным объектам значительно более глубокое значение минимума функционала, отвечающего обобщенному принципу минимума диссипации, – 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. Я думаю, что из всех живых организмов, когда-либо существовавших на планете, они были, вероятно, самыми «жизнестойкими». Они обладали самой высокой способностью адаптации к быстрому изменению условий обитания, которое было характерно в то время для поверхности нашей планеты. И к этому надо добавить еще следующее – первые прокариоты были практически бессмертными. Именно бессмертными, как всякое неживое образование. Их можно было, конечно, разрушить, но собственной смерти они, вероятно, еще не знали. На этом этапе развитие уже отделило живое от неживого, но пропасть между жизнью и смертью еще не была столь глубока, как сегодня.

Тем не менее будущее принадлежало не этим существам, обладавшим удивительной способностью сохранять гомеостазис. В конечном итоге эта ветвь процесса самоорганизации оказалась тупиковой. 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. Обладая кислородным дыханием, эукариоты могли утилизировать внешнюю энергию неизмеримо более эффективно. Другими словами, они в гораздо большей степени могли добиваться локального снижения энтропии. Но возникшие формы организации жизни заплатили за все это дорогой ценой: эти новые живые существа сделались смертными. Они потеряли способность первых прокариотов сохранять свой гомеостазис практически в любых условиях.

В предыдущей главе я пытался показать, что многообразие форм жизни связано определенным образом со множеством возможных компромиссов между тенденциями обеспечения собственного гомеостаза и стремлением реализовать обобщенный принцип минимума диссипации. Возникает ситуация, которая чем-то напоминает движение по поверхности Парето. Как известно, это многообразие замечательно тем, что увеличение значения одного из критериев сопровождается уменьшением (строго говоря, неувеличением) значений другого или других: на нем нельзя добиться одновременного роста значений всех критериев.

Примечание. Множество Парето играет важную роль в теории многокритериальной оптимизации. Предположим, что мы стремимся найти такую стратегию (вектор x), которая наилучшим образом отвечала бы нашим стремлениям увеличить значения критериев – скалярных функций $\varphi_1(x)$, $\varphi_2(x)$... – Тогда, задавая некоторое значение вектору $x = x_1$ в пространстве критериев мы получаем некоторую точку $P(x_1)$ с компонентами $\varphi_1(x_1)$, $\varphi_2(x_1)$... Предположим теперь, что мы нашли такую стратегию x , для которой

$$\varphi_1(x_1) < \varphi_1(\hat{x}); \quad \varphi_2(x_1) < \varphi_2(\hat{x}) \dots$$

Очевидно, что теперь стратегию x_1 мы можем уже не рассматривать – оно по всем критериям хуже $\hat{x}$. Значит, нас могут интересовать только те точки $P(\hat{x})$ в пространстве критериев, для которых нельзя найти другой точки $P(x)$, такой, чтобы по всем критериям $\varphi_i(\hat{x}) \neq \varphi_i(x)$. Совокупность всех подобных точек P в пространстве критериев и называется поверхностью (или множеством) Парето.

Появление эукариотов, которые на определенном этапе сменяют прокариотов и становятся носителями дальнейшего развития жизни, служит иллюстрацией «паретовских компромиссов»: уменьшение стабильности отдельного организма, появление индивидуальной смертности сопровождались увеличением эффективности в использовании внешней энергии, что открывало совершенно новые возможности для развития жизни. Именно потеря бессмертия позволила включить в единый процесс развития новые механизмы эволюции. С момента появления эукариотов начинается быстрое совершенствование видов и стремительный рост их разнообразия.

Однако об этом периоде развития Земли мы знаем мало. Но нет сомнений в том, что он был одной из важнейших страниц истории нашей планеты. Появление эукариотов (и современных прокариотов) на авансцене жизни привело к возникновению генетического кода или, во всяком случае, было 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 наследственности. 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. Ничему не противоречит гипотеза о том, что в начале истории земной жизни могли быть и другие его варианты, но в наших земных условиях – подчеркну, *в конкретных условиях земной жизни* – сложившаяся форма

передачи наследственной информации оказалась, вероятно, наиболее стабильной. Она позволила более надежно воспроизводить себе подобных, сохранив при этом оптимальную (для тех времен) изменчивость – «уровень мутагенеза». Генетическая память резко интенсифицировала весь эволюционный процесс.

Примечание. Я думаю, что генетический код, как и все гениальные «находки природы», возник и утвердился в результате жесточайшей конкуренции и естественного отбора. Живые существа, наделенные другими способами кодирования наследственной информации, просто не выдержали бы конкуренции и погибли. Разумеется, высказанное мнение не более чем гипотеза. Никаких подтверждений для него мы не знаем. Но оно не противоречит изложенным выше принципам самоорганизации материи и согласуется с ними. Если жизнь возникла (или существует) и в других мирах, в других частях Вселенной, то вовсе не обязательно, что ее генетический код, т. е. структура ее наследственной памяти, будет такой же, как на Земле. В других условиях более надежной может оказаться иная форма хранения и передачи наследственной информации. Возникновение наследственной памяти, взаимосвязанное с появлением смерти и редупликации, т. е. способности воспроизводить себе подобных, означало появление качественно новых возможностей для расширения многообразия организационных структур. В самом деле, конечность существования отдельного организма обеспечивает высокий уровень изменчивости и, следовательно, адаптации 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, теории управляющих систем. Ведь вместе с жизнью возникает целенаправленная деятельность, прежде всего стремление сохранить гомеостазис.

Мы уже не раз употребляли понятие «гомеостазис», и настало время уточнить его смысл, тем более что это понятие очень широкое. В медицине и биологии говорят о внутреннем равновесии и внутренней стабильности организма или об устойчивости живой системы, например популяции. Но не менее важна и оценка внешних характеристик, т. е. характеристик окружающей среды, их соответствия возможностям функционирования живой системы. Этот контекст более важен для данной работы, и именно в нем мы и будем использовать в дальнейшем понятие гомеостазиса.

Условимся называть границей области гомеостазиса (или просто гомеостазиса) данной живой системы множество (линию, поверхность, гиперповерхность) в пространстве параметров внешней среды, отделяющее область их значений, внутри которой существование живой системы возможно, от остального пространства. Переход из области гомеостазиса через ее границу означает прекращение существования живой системы.

Когда мы говорим о тенденции к сохранению гомеостазиса, мы имеем в виду стремление живого организма расширить границы своего существования. Это может быть достигнуто двумя путями. Во-первых, организм может так изменить свои собственные характеристики, чтобы область его гомеостазиса расширилась. 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 изменять эту среду так, чтобы ее характеристики в наибольшей степени соответствовали их возможностям существования.

Чтобы обеспечивать свой гомеостазис, живое существо должно обладать целым рядом свойств. Во-первых, оно должно быть способным оценивать свое положение по отношению к границе гомеостазиса. Но для этого необходимы специальные устройства. В физиологии они называются рецепторами. Если использовать терминологию теории управления, то

мы должны будем 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, полученная информация должна перерабатываться и оцениваться. Наконец, на основе проведенного анализа должно приниматься определенное решение. Все эти функции и реализует нервная система, которую мы с полным правом можем назвать системой управления организма, ибо все перечисленные функции присущи любой системе управления.

Примечание. Следует заметить, что нервная система – это не единственная управляющая система, которой обладает организм. Функции управления в достаточной степени рассредоточены. К числу управляющих относится, например, эндокринная система. Но нервная система, конечно, занимает в жизнедеятельности организма совершенно особое место.

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

Хотя природа сформировала цепочки обратных связей еще на заре истории жизни, люди поняли их принципиальное значение и начали сознательно использовать относительно недавно – при проектировании технических систем. Наверное, интуитивно люди уже давно прибегали к принципу обратной связи – вспомним поведение рулевого на любом судне. Но первой технической системой, в которой принцип обратной связи был не только реализован, но и послужил источником специальной теории, стал регулятор Уатта. Создателями этой теории принято считать И. А. Вышнеградского (бывшего при Александре II министром финансов Российской империи) и Дж. К. Максвелла. Они разработали теорию регулятора независимо друг от друга в конце 40-х 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 позволила 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.

Н. Винер еще в 40-х годах нашего века утверждал, что существование отрицательных обратных связей у живых существ является одной из основных (может быть, и главной) особенностей, отличающих живую природу от неживой, если исключить технические системы, обладающие обратной связью по воле их создателя – человека. Это утверждение Н. Винера получило широкую известность. И в литературе нередко высказывается убеждение, будто факт существования отрицательных обратных связей как основное отличие живых существ от неживых предметов является открытием Н. Винера. Более того, Н. Винера иногда называют «отцом биокибернетики». Однако, несмотря на все заслуги этого выдающегося ученого в области кибернетики, подобное утверждение вряд ли оправданно. Еще за 15 лет до Винера П. К. Анохин также утверждал, что наличие отрицательных обратных связей, обеспечивающих устойчивость организмов, – это то самое главное, что присуще жизни, что создает у живых существ целеполагание – стремление к сохранению гомеостаза, что отличает жизнь от процессов, протекающих в неодушевленной природе. Ученики П. К. Анохина считают именно его зачинателем современной биокибернетики. Но, по-видимому, ни П. К. Анохин, ни Н. Винер не были правы. Правильную точку зрения первым высказал, скорее всего, А. А. Богданов, который еще в 1911 г. занимался проблемами организационных структур.

Его книга «Всеобщая организационная наука, или Тектология» написана довольно архаичным языком, и, конечно, самого термина «обратная связь» у автора просто нет, да и не могло быть, поскольку он появился лишь в 20-х годах в лексиконе технических специальностей. Однако, если перевести рассуждения А. А. Богданова на современный язык, можно будет сказать, что он утверждал, что для развития организации любой природы необходимы не только отрицательные, но и положительные обратные связи. Любая организованная система, любое живое существо в частности, если присмотреться внимательно к его деятельности, проявляет способности реализовывать оба типа обратных связей. Ведь одни только отрицательные обратные связи, доведенные до своего логического конца, приводят к застою, к деградации организации, к прекращению всякого развития и к исчезновению той варибельности, без которой никакая эволюция живого невозможна. Прекращение эволюционного процесса вовсе не означает потерю живой системой устойчивости 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. Поэтому для «прогрессивной» эволюции, т. е. такого процесса, который ведет к появлению новых качеств, к росту сложности организмов, к повышению уровня разнообразия, необходимы и положительные обратные связи. Они позволяют расширить поиск, полностью 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 «организованная система» мы будем использовать в большей степени понятие «организм». Под организмом, следуя терминологии теории управления, будем понимать любую систему, которая не только имеет собственные цели, но и обладает определенными возможностями следовать им. Живое существо всегда является организмом, поскольку оно не только имеет цель – сохранение гомеостазиса, но и обладает определенными возможностями ее достижения. Организмами являются и многие сообщества живых существ. Используя эту терминологию, мы можем сказать, что любой организм обладает способностью реализовывать как отрицательные, так и положительные обратные связи.

Редупликация, метаболизм, возникновение и устойчивость неравновесных с точки зрения термодинамики структур – все это укладывается в более или менее понятные схемы, и мы сталкиваемся с этими процессами уже на предбиологическом уровне развития вещества. Работы М. Эйгена и его последователей уже наметили определенные пути их математического моделирования. Что же касается механизмов обратных связей обоих типов (которые необходимо присущи всему живому), то их возникновение пока остается для нас «тайной за семью печатями». Это ведь такое изобретение природы, для понимания которого у нас еще нет никаких аналогий. Мы пока еще очень далеки от того, чтобы представить себе модель процесса, который мог бы привести к появлению какого-либо подобного механизма. Следуя терминологии В. И. Вернадского, факт существования сложных механизмов обратной связи 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 выражение «теоретическая биология». В попытках расшифровать его 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 эмпирического материала действительно требует создания стройной теоретической системы, связанной единым становым хребтом, который подобен законам

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 результатом озарения гениев (а не следствиями дедуктивного анализа), суждено будет сделаться модели, описывающей возникновение обратных связей.

На этот путь нам указывает и опыт последнего десятилетия – М. Эйгену удалось построить модель редупликации биологических макромолекул. Если бы удалось сделать следующий шаг и построить нечто подобное для объяснения отрицательных обратных связей, сохраняющих гомеостазис, и положительных обратных связей, которые обеспечивают рост эффективности использования внешних энергии и вещества, то мы могли бы заменить сформулированное выше «эмпирическое обобщение» стройной логической схемой и тем самым заложить фундамент теоретической биологии.

2. Рефлексное управление и нервная система

Итак, в процессе эволюции живые организмы обзавелись системой обратных связей, которая помогает им обеспечивать собственную стабильность и дальнейшее развитие. Носителями реакций обратных связей являются нервная и гормональная системы. Эволюционируя как система управления организмом, нервная система непрерывно усложняется и в результате превращается в систему, содержащую сложнейшие блоки переработки информации и выработки команд исполнительным органам.

В первой главе мы сослались на «синергетику». Этот термин включает в себя понятие эволюции в том смысле, что любой эволюционный процесс, происходящий в живом мире, является проявлением синергизма, т. е. 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 движений (вариантов поведения), доступных живому организму в силу законов неживой природы.

Проблема возникновения устойчивых структур, реализующих обратные связи, невольно сталкивает нас с проблемами редукционизма, с вопросом о сводимости законов, описывающих развитие живого мира, к законам, определяющим процессы, протекающие в неживой природе. Ответа на этот вопрос сегодня еще нет, и поэтому, может быть, представляет известный интерес переформулировать его с использованием принятого языка.

Любой процесс самоорганизации способен реализовать лишь те потенциальные возможности, которыми располагает природа. По мере развертывания этого процесса происходит непрерывное усложнение его деталей. В этой связи можно считать, что в своем усложнении Природа вводит в действие все новые и новые механизмы и принципы отбора из своего арсенала. Другими словами, усложнение организации означает, по существу, все более глубокое использование потенциальных возможностей Природы. Такой взгляд на мировой процесс развития не противоречит общим принципам диалектики. Но в то же время он является лишь гипотезой. В основе его лежит тот факт, что для описания процессов, протекающих в живом мире, мы вынуждены вводить новые принципы отбора, которые отсутствуют в мире «косной» материи.

Тот «физикалистский подход», который был объявлен в этой книге, неизбежно приводит нас к следующему вопросу: можем ли мы быть уверенными в том, что принципы отбора, действующие в живом мире, заложены в «синергетический потенциал» Природы? Нельзя ли считать их только новым ракурсом рассмотрения общефизических законов, управляющих и неживой природой? Мне кажется, что проблему редукционизма сегодня следует формулировать именно таким образом.

После этих замечаний общего порядка вновь обратимся к проблемам развития нервной системы и анализу тех следствий ее постепенного совершенствования, которые нам потребуются для дальнейшего изложения.

Мы сказали, что функционирование механизмов обратной связи в живом организме обеспечивает прежде всего нервная система. Справедливо, возможно, и такое утверждение: все, что связано в организме с процессами регистрации, переработкой информации и с последующей затем процедурой выработки его поведения (т. е. принятия решения), можно назвать его нервной системой.

Последовательное совершенствование нервной системы в процессе эволюции является, может быть, нагляднейшим примером, демонстрирующим возможности самоорганизации в живом мире. Проследить этот процесс во всех его деталях было бы чрезвычайно важно

и с чисто прикладной точки зрения. Такое знание могло бы не только дать огромный материал для размышления естествоиспытателям, но и стать источником аналогий в инженерном деле и в исследованиях по кибернетике и искусственному интеллекту.

К сожалению, начальные этапы, начальные эпизоды возникновения нервной системы от нас скрыты очень прочной завесой. А как важно было бы знать, каким образом и на каком этапе возникла дифференциация клеток, среди которых были первые нервные волокна? Как происходило усложнение функций нервной системы? Здесь возникает, конечно, и целый ряд других вопросов, важных для биологов и физиологов. А кибернетический подход к анализу деятельности нервной системы, т. е. системы управления организмом, ставит, в свою очередь, еще множество других интереснейших проблем.

Выше я постоянно стремился подчеркнуть существование и значение двух противоречивых, но тесно связанных между собой тенденций – стремления сохранить гомеостазис и тенденции реализовать обобщенный принцип минимума диссипации энергии. Возникновение нервной системы было связано, по-видимому, с необходимостью сохранения гомеостазиса, с выработкой определенных рефлексов, обеспечивающих существование (выживание) организма. Что же касается второй тенденции, т. е. стремления в максимальной степени использовать внешнее вещество и энергию, то сказать что-либо определенное по поводу ее реализации на первоначальных этапах развития нервной системы очень трудно. Наверное, еще никто и не пытался исследовать эту проблему. Я могу лишь предполагать, что на ранних этапах развития живого несовершенная нервная система вряд ли оказывала заметное влияние на рост эффективности в использовании внешних энергии и вещества. Этот процесс развертывался, вероятно, на физико-химическом уровне. В конечном итоге рост эффективности в использовании внешних ресурсов достигался, разумеется, через посредство естественного отбора, поскольку усвоение энергии и вещества оказывало определенное влияние на развитие организма и, следовательно, его нервной системы. Но проследить какие-либо детали этого процесса сегодня уже невозможно.

По мере совершенствования организмов и развития нервной системы положение начинает меняться, а с появлением зачатков интеллекта именно на нервную систему возлагается ответственность за совершенствование механизмов использования внешних ресурсов. С общенаучной и методологической точек зрения, очень важно было бы понять, как линия развития системы управления целенаправленной деятельностью живых существ приводит однажды к тому, что именно нервная система становится решающим фактором эволюции и формирования компромиссов между указанными двумя тенденциями.

Итак, развитие жизни можно рассматривать и в ракурсе тех возможностей использования внешних ресурсов, доступных организмам и видам, которые они вырабатывают в процессе эволюции. Конечно, до поры до времени единственным источником энергии было Солнце (ролью хемосинтеза в земной эволюции, на уровне нашего анализа, вероятно, можно и пренебречь). И вначале в распоряжении жизни был лишь один механизм использования солнечной энергии – фотосинтез с его ничтожно малым коэффициентом полезного действия. За те 1,5–2 млрд лет, которые были эрой господства микроскопических водорослей и плесени (прокариотов) и которые понадобились для того, чтобы процесс самоорганизации смог создать механизм кислородного дыхания и его носителей (эукариотов), коэффициент полезного действия использования внешней энергии возрос в несколько раз. Количество используемой энергии на единицу биомассы по мере развертывания эволюционного процесса непрерывно росло. И этот рост происходил, по-видимому, по экспоненциальному закону.

Следующим фундаментальным шагом в развитии жизни после того, как она обрела кислородное дыхание, было появление живых существ, пищей для которых стали служить растения. Такие живые существа усваивали энергию в гораздо больших концентрациях,

нежели сами растения. Затем появились животные, которые стали питаться животными. Это еще больше увеличило эффективность использования внешней энергии. Наконец появился человек. Однажды он научился использовать не только энергию окружающей его живой природы, но и ту энергию, которую накопили прошлые биосферы, – ту энергию Солнца, которую биота сумела сохранить на Земле в форме ископаемых углеводов. А в самом конце современного этапа истории жизни человек научился использовать эту энергию, которую наша планета получила из космоса в период своего образования. На этом этапе нервная система уже имеет Разум, и ее роль в дальнейшем развитии биосферы становится определяющей.

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.