

**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
Конец ознакомительного фрагмента.	22

**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 разобращены 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 СССР<sup>1</sup>. При этом некоторые выводы методологического характера показались мне не совсем тривиальными, и я посвятил им специальную работу<sup>2</sup>. 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 узлами. 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. Пospelовым 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 выносится 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 –  $2 \times 10^{10}$  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»<sup>1</sup>. 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 взаимобусловленного 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 естественнонаучной 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. Федорова<sup>1</sup> «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 техносферы<sup>2</sup> 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 внешней 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 самостоя-

тельную 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»<sup>1</sup>. 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  $2 \times 10^{10}$  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, возникнове-

ние 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 условиях<sup>2</sup>. 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!<sup>3</sup> 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 макромолекул<sup>4</sup>.

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 червячков, на сколько частей его разрубили.)

За последние годы многое удалось понять и в том, что можно назвать механизмами развития (в частности, эволюции<sup>5</sup>), 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, знание 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, оказываются 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 некорректностями. 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 книг<sup>6</sup> 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, образуемая 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»<sup>7</sup>.

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 назвали, следуя А. Пуанкаре, «бифуркационными».

## **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.