

Глава 11. Абиогенная химическая эволюция

11.1. Направления и возможности химической предбиологической эволюции

Сильные и слабые стороны эволюционных гипотез. Существуют различные гипотезы о направлениях, которые вывели химическую эволюцию в начальную биологическую фазу, о части из которых мы еще скажем. Их сильной стороной является то, что они пытаются обнаружить конкретные механизмы такой трансформации. Слабая сторона заключается в том, что эволюция невольно сужается до однолинейной, тогда как (и мы об этом говорили неоднократно) только наличие целого ряда линий развития может в итоге привести к крупному прорыву. Эти линии, каждая из которых ограничена, развивает (далеко не полностью) очень небольшое число инноваций, а то и всего какой-то один механизм. Но вместе эти линии конкурируют и взаимно дополняют друг друга, дивергируют и конвергируют, а в итоге приходит время, когда инновации разных линий складываются в принципиально новую систему, которая и означает начало мощного прорыва к новому. Однако начало такого прорыва после того, как новый уровень сформируется и разовьется, обнаружить сложно или даже невозможно. Здесь можно вспомнить идею о быстром исчезновении исходных форм, которую П. Тейяр де Шарден называл законом, «в силу которого начала всех вещей имеют тенденцию становиться материально неуловимыми». Данный закон он также называл «автоматическим устранением эволюционных черешков» (Тейяр де Шарден 1987: 80), что можно было бы сформулировать как *правило исчезновения исходных форм*.

Из указанного ошибочного ограниченного подхода эволюционных химиков соответственно вытекало убеждение, что только один главный механизм и должен быть решающим. Однолинейность в подходах имплицитно основывается на эсхатологической идее, что более низкие уровневые этапы как бы изначально были

призваны обеспечить реализацию высших и ценность первых прежде всего в этой их транзитной роли. А такой взгляд, уместный только в определенных аспектах исследования, значительно ограничивает понимание собственных тенденций и закономерностей «транзитных» (на самом деле самодостаточных) уровневых этапов. Переноса сказанное на химическую эволюцию, нельзя не согласиться с выводом, что биохимические гипотезы происхождения жизни на Земле, по сути, своим объектом делают не химическую эволюцию, а только биосинтез *in vivo*, моделируемый посредством органического синтеза *in vitro* (Кузнецов 1989: 189).

Помимо указанных ошибок, главные недостатки как уже довольно давних, так и новых гипотез следующие. Это недоучет вышеуказанной идеи П. Тейяра де Шардена (1987), что переходные формы не оставляют видимых материальных следов, а также той идеи, которую мы формулировали как *правило архаичности первичных систем*. Системы не формируются зрелыми, для обретения зрелости и устойчивости им обычно требуется несколько реконфигураций, в том числе циклов разрушения и нового формирования. Поэтому первичные системы часто выглядят архаично и почти не сохраняются, а более совершенные образуются уже как вторичные или третичные (это касается не только биологических или социальных систем, но и первичных планет или звезд; см.: Гринин 2017: 163).

Кроме того, первые предживые системы, вероятно, следует рассматривать не как прямых предков первых живых систем, а как аналоги, которые по ряду функций уже были сравнимы с примитивнейшими живыми системами, но в целом были организованы несколько иначе (как именно, сейчас крайне сложно сказать). Это могло быть тем более справедливо, что условия на молодой Земле неизвестны, а следовательно, могли образоваться такие структуры или реакции, в реальность которых современные ученые не поверят, пока не появятся конкретные факты. Так, факты обнаружения органических веществ в космосе при температуре, близкой к нулю, а также и аналогичные экспериментальные данные (Гольданский

1975) показывают некоторые возможности химических реакций, которые мы никогда бы не признали без доказанных фактов¹²⁰.

В. И. Кузнецов справедливо отмечает, что первое поколение ученых, которые пытались построить теории биохимического происхождения жизни, исходили из того, что процессы саморазвития химических систем, подводящие к биогенезу, невольно представлялись в духе идей А. И. Опарина (см., например: Опарин 1957; 1968; см. также: Евреинова 1966; Серебровская 1971), то есть протекающими при невысоких температурах, нормальном давлении и, как правило, в растворах. Эти представления о «предбиологической эволюции» господствовали длительное время. Они получили поддержку в работах М. Кальвина (1971), Дж. Бернала (1969), А. А. Титаева (1974) и других исследователей. Далее В. И. Кузнецов пишет: «Конечно, химия нормальных состояний с ее созидательными, синтетическими тенденциями, ведущими к высокомолекулярным соединениям, и химия высоких энергий (например, плазмохимия) с ее разрушительными, пиролитическими тенденциями, ведущими к расщеплению молекул, – это антиподы. Но нет сомнения и в том,

¹²⁰ Подобные мысли уже высказывались. Так, Р. К. Дикерсон писал, что коацерваты (то есть первичные протобионты, в терминологии А. И. Опарина) были не примитивными образованиями, или «предками» живых клеток, а скорее аналогами тех древних форм, систем со сложным химическим поведением, которые могли возникнуть под воздействием естественных сил (Дикерсон 1991: 95). Можно и нужно говорить не только об аналогах живых систем, но и об аналогах биоценозов (протохимобиоценозов). Сложное химическое поведение могло перерасти в сверхсложное, потому что прорыв к новому часто совершается не с низших уровней, а уже как горизонтальное движение систем, находящихся на практически равном уровне сложности, но отличающихся по своей организации. При этом эволюционные перспективы у этих систем принципиально разные. Поэтому может произойти так, что сложные системы с эволюционно тупиковыми перспективами в итоге реорганизуются в сложные системы с очень широкими эволюционными перспективами. Нельзя буквально воспринимать следующие слова Дж. Бернала, но можно принять их как некую схему, рисующую какие-то возможности сосуществования таких сложных систем без эволюционных перспектив, которые в итоге заставили их трансформироваться в эволюционно перспективные. «Быть может, никакого точного начала жизни не было вообще. В состоянии активного равновесия, вызванного превращениями, непрерывно происходящими между теми или другими химическими веществами, могли устанавливаться известные циклы, которые были самовоспроизводящими, то есть молекула А производила молекулу В, и так далее до тех пор, пока молекула Z снова не производила молекулу А. На этой стадии всю среду можно было бы назвать живой в биохимическом смысле (не в биологическом смысле, а в биохимическом. – Л. Г.), хотя ни одного организма еще не существовало. Однако такая жизнь, очевидно, всегда должна была подлежать распаду» (Бернал 1956: 490). Здесь можно говорить даже об особой оболочке – химобиосфере.

что эти антиподы представляют собой противоположности химии как единой, целостной науки. Неожиданным и потому в высшей степени интересным в оценке отношений между этими двумя отраслями химии оказалось то, что им обоим предстоит изучать один и тот же феномен саморазвития химических систем, обусловленный одними и теми же причинами и подчиняющийся одним и тем же законам химической эволюции (Кузнецов 1989: 170). Действительно, экстремальных условий на Земле в раннее время было более чем достаточно. Даже сегодня их много, причем в некоторых из них обнаружена жизнь. В частности, в так называемых гидротермах на дне океанов, что были обнаружены в 1970-х гг., живут археобактерии (археи). Последние выдерживают температуру до 120 °С (см.: Громов 1997).

Следует отметить также в качестве недостатков: а) непонимание необходимости каких-либо особых событий-триггеров либо триггеров в виде участников; б) непонимание, что переход к системе редупликации и развития до биологического уровня не был запрограммирован, он явился случайным результатом, с одной стороны, но стал неизбежным, потому что ниша сложных химических веществ заполнилась, движение к занятию новых ниш замедлилось, эволюция как бы застопорилась, чтобы найти особый вариант решения.

«Но, как это всегда бывает в мире, то, что вначале явилось лишь счастливым случаем или способом выжить, было немедленно преобразовано и использовано как орудие прогресса и завоевания», таким образом, согласно одному из самых общих законов эволюции, «случай, едва появившись, был трансформирован в нечто, закономерно направляемое» (Тейяр де Шарден 1987: 91, 68). По сути, это вариация правила необходимости уникальных условий для появления нового (в число которых входит и благоприятный случай), но также и *правил ароморфоза и редкости крупных ароморфозов*, согласно которому прорывные эволюционные решения появляются как конкретный ответ на конкретные вызовы или конкретное решение конкретной задачи, каковые ответ и решение в процессе развития обнаруживают большую эволюционную перспективу и универсальность, в итоге стано-

вась прорывными. Чем крупнее ароморфоз (а репликация, без всякого сомнения, один из очень крупных ароморфозов), тем, соответственно, реже они происходят, поскольку тем уникальнее требуются условия для них (о правиле ароморфоза см. подробнее: Гринин и др. 2008: 26–28; о редкости крупных ароморфозов: Там же: 39–41).

Словом, даже это перечисление недостатков в подходах говорит о том, что химико-биологический эволюционный процесс был существенно сложнее даже того сложного процесса, который может быть синтезирован из современных биохимических открытий в общих чертах (один из его вариантов дает А. В. Марков [2014]).

Направления и возможности развития химической эволюции: некоторые подходы. Исходя из вышесказанного, в целом можно смело утверждать, что химическая эволюция абиогенных органических веществ происходила по весьма разным направлениям: а) улучшения структур; б) повышения энергетического результата; в) ускорения реакций (повышения скорости их протекания); г) отбора наиболее подходящих по тем или иным параметрам элементов и соединений; д) концентрации веществ; е) усложнения соединений; ж) способности соединений к количественному росту; з) избирательности и узнаваемости одних веществ другими¹²¹; и) создания важных преадаптаций для будущего рывка и др. При этом в разных случаях, периодах и на уровнях значимость этих направлений могла варьироваться. Это очевидно, поскольку, как мы только что сказали, переход на более высокий уровень эволюции требует изменений по многим линиям.

Отметим, что абиотическая органическая химическая эволюция длительное время была лишь ответвлением, причем маргинальным, как часто бывает в эволюции, на общем потоке неорганической химической эволюции (хотя это деление не абсолютно и много раз доказано, начиная с классических опытов Гарольда Юри и Стэнли

¹²¹ Имеются свидетельства некоторой упорядоченности в последовательности конденсации, например, аминокислоты проявляют некоторую избирательность в выборе следующей присоединяемой структурной единицы. Возможно, что ход добиологической химической эволюции в определенной мере регулировался такой предпочтительностью (Эглинтон 1974: 52). Выше мы уже писали об этом свойстве избирательности или «узнавания» в химической и иных видах эволюции как о реализации важного эволюционного паттерна – различных реакций на «свой – чужой».

Миллера в 1953 г., что из неорганических веществ можно получить много органических)¹²². Но важно подчеркнуть, что здесь за счет вышеописанных свойств углерода и других органоенов постепенно произошло изменение специфической вещественной основы. На первый план вышли уже не молекулы или их совокупности, то есть не обычные химические соединения в привычном понимании, а целостные полимолекулярные открытые химические системы, взаимодействующие с внешней средой и потому обладающие динамическими эволюционными свойствами. Эти свойства представляют собой высшие формы химизма, характеризующиеся не столько перераспределением электронов межатомных связей, что составляет основу всякого химического превращения, сколько тенденциями к образованию все более высоких форм химической организации, преемственностью эволюционных изменений и единством дискретности и непрерывности этих изменений во времени (Кузнецов 1989: 200–201).

Преадаптации. Наиболее важными для начала биологической эволюции преадаптациями можно считать: создание изолированной от внешней среды системы, в которой могли происходить постоянные химические и биохимические реакции и циклы таких реакций; поддержание внутри этой изолированной среды постоянных условий, концентраций, энергетического баланса, нужной скорости реакций и пр.; эффективные реакции на внешние условия и раздражители; репликации (то есть способность воспроизводиться); сохранение без больших искажений исходного кода; способность к трансформации, запасанию, передаче и эффективному использованию энергии и управления сложными химическими процессами путем использования все более совершенных катализаторов и веществ, а также автокатализ и способность к самосборке¹²³. Но указанные и другие преадаптации сошлись вместе далеко не одновре-

¹²² Относительно недавно, в марте 2015 г., ученые Кембриджского университета во главе с Джоном Сазерлендом показали, что все типы «молекул жизни», в том числе РНК, белки, жиры и углеводы, можно получить в ходе подобных реакций, в которых будут участвовать простые неорганические соединения углерода, сероводород, соли металлов и фосфаты (Спиридонов 2019).

¹²³ Принято считать, что до того как сформировались гены, химическая организация первичной клетки обеспечивалась автокаталитическими процессами и самосборкой (Лима-де-Фариа 1991: 329).

менно, а по мере формирования основных механизмов живой клетки. Однако правомерно предположить, что были и иные, ретроспективно не видные преадаптации, так как мы не знаем реального хода химической эволюции. Главные из них – важные реакции, возможности аккумуляции энергии, способы ускорения, повышения концентрации вещества, которые и заложили основы биохимического обмена веществ и синтеза. Это одновременно и новый вид информации (химический и биохимический), который в биологической эволюции достиг очень значительного развития. Это в целом увеличило объем эволюционной информации (см.: Руденко 1969: 195).

Далее мы еще будем говорить о разных подходах к проблеме возникновения жизни. Но с нашей точки зрения, кое-что будет заметно яснее, если мы рассмотрим продвижение к новому уровню эволюции в аспекте того, что оно совершалось в сложном коэволюционном движении целого пучка эволюционных направлений.

11.2. Коэволюции. Сходства и взаимосвязи минеральной, химической и биологической эволюций в абиогенной фазе и в фазе зарождения жизни

Эволюция минералов и химическая эволюция – два пересекающихся пути к биологической эволюции. Продолжая разговор о преадаптациях, скажем, что они всегда представляют глубокий резерв эволюции, при этом далеко не все из них реализуются. И они могут появиться также в результате тупиковых (в плане перехода на более высокий уровень) ветвей эволюции, которые показывают направления ее поисков. Так, уже давно (с XIX в.) отмечаются интересные сходства между кристаллами и живыми организмами. Напомним, что, как известно, кристаллы являются минералами, то есть большинство минералов имеют кристаллическую природу.

Сначала приведем **данные о сходствах минералов и живых существ**, организмов. В своей совокупности они не могут не поражать. Такие сходства выглядят загадочными, необъяснимыми, противоречащими всему нашему представлению о живом и неживом.

Потом попробуем дать свое объяснение этим сходствам с точки зрения эволюционистики.

О сходствах кристаллов с живыми организмами, в частности, неоднократно говорил А. И. Опарин. Его особенно интересовало их сходство с живыми организмами в плане размножения, причем идея о матричном способе размножения организмов была первоначально сформулирована на основании сходства размножения последних и кристаллов (см., например: Шноль 1979: 10–13; см. также: Грэхем 1991: гл. III).

Вот что говорит об этих сходствах современная наука. Отмечаются следующие явления.

1) Способность адаптироваться к среде и самостоятельно менять форму.

Способность кристаллов самоограняться, то есть при определенных условиях принимать естественную многогранную форму, издавна поражала людей. Шарик, вырезанный из кристалла кварца или квасцов, в растворе этого же соединения покрывается гранями, в то время как шарик из кварцевого стекла остается неизменным. Здесь налицо разница между «живым» кристаллом и поделкой из него, хотя химический состав почти один и тот же. То же самое, то есть огранение, произойдет и с обломками кристалла кварца. Этот пример иллюстрирует не только способность кристаллов самоограняться, но и их анизотропию, проявляющуюся в различии скоростей роста по разным направлениям, а также симметрию. Процесс огранения – результат правильного внутреннего строения кристаллического вещества (Егоров-Тисменко 2005: 48). Здесь мы также видим способность к регенерации частей организма, которая есть у живых существ (см. также *Главу 3*, где мы приводили выдержки из книги И. В. Мелихова [2018]; см. далее п. 3).

2) Способность реагировать на энергетическую среду, выбирая оптимальный вариант.

Экстремальные свойства правильных многогранников, то есть их способность ограничивать собой объем больший, чем у любого другого тела с тем же числом граней, или, иными словами, иметь наименьшую поверхность среди всех

тел с тем же объемом и числом сторон, сделали их «выгодными» фигурами, широко используемыми и живыми организмами. Так, формы правильных многогранников присущи радиоляриям, а также вирусам (Егоров-Тисменко 2005: 19). Как мы видим, поиск наиболее энергетически выгодных форм шел как бы параллельно в разных направлениях эволюции, включая звезды и планеты (они выбирали шарообразную форму, о чем уже шла речь выше).

Впрочем, сам процесс кристаллизации, как выясняется, энергетически выгоден. На первый взгляд это кажется странным, но на самом деле порядок всегда энергетически более выгоден, чем беспорядок, энтропии в нем намного меньше. Отсюда самосборка и т. п. в химической и иных путях эволюции, отсюда и кристаллизация. Причина кристаллизации, то есть перегруппировки беспорядочно расположенных частиц в регулярную кристаллическую постройку, заключается в том, что энергетически наиболее выгодно (при определенных условиях) такое состояние, при котором силы, действующие между частицами, окажутся уравновешенными, а это достигается лишь в случае упорядоченного расположения материальных частиц (Там же: 203). При этом идет формирование кластеров и объединение частиц в агрегаты, а затем происходит морфологический отбор упорядоченных агрегатов путем разрушения менее упорядоченных форм молекулами среды (разрушаются агрегаты, у которых зазор между частицами больше, а следовательно, сила притяжения частиц друг к другу меньше). Если наночастицы имеют кристаллическую структуру и огранены, то при отборе преимущественно накапливаются формы, близкие к коллоидным кристаллам (Мелихов 2018: 28).

3) Реагирование на внешние условия путем перестройки формы. Вариативность в рамках вида.

Таким образом, процесс кристаллизации оказывается энергетически выгодным. И, казалось бы, растущий кристалл, стремясь к равновесному состоянию, должен приобретать определенную, единственную для каждого вещества физически возможную идеальную равновесную форму, обусловленную лишь составом и структурой. На самом деле кристаллы одного и того же минерала или соединения встре-

чаются в самых разнообразных формах. Это можно объяснить тем, что на форму кристалла накладываются отпечаток различные изменяющиеся условия кристаллизации: температура, давление, сила тяжести, химический состав, динамика среды и т. д. (Егоров-Тисменко 2005: 203; см. также: Мелихов 2018). Как тут не вспомнить, что у живых существ, хотя и не у отдельных особей, но в рамках вида, подвида или популяции, есть способность к смене формы тела в связи с воздействием среды (включая и энергетические потребности). Так, форма тела меняется в зависимости от среды обитания, доступности пищи, а также в жарком и холодном климате. Соответственно налицо и вариативности в рамках отдельных видов. Можно выделять классические и аналоговые формы у кристаллов. В описанном выше в п. 2 процессе отбора и накопления форм, преимущественно близких к коллоидным кристаллам, происходят следующие процессы. У этих агрегатов наночастицы контактируют определенными гранями и укладываются так, чтобы площадь контактов внутри агрегатов была максимальной, а кристаллическая решетка каждой наночастицы являлась когерентным продолжением решетки соседних наночастиц. Со временем данные формы ограняются, превращаясь в *псевдонанокристаллы*, трудноотличимые от *истинных монокристаллов*, выросших из одного зародыша (Мелихов 2018: 28). То есть имеются параллелизм и аналогии.

4) Способность к росту.

Кристаллы, приспосабливаясь к изменяющимся условиям и используя все возможности для быстрого роста, меняют свой облик, в том числе форму, химический состав, структуру (Егоров-Тисменко 2005: 203; Мелихов 2018: 27). Конечно, растут и другие объекты, в частности планеты и планетоподобные объекты, горы и т. п. Но все же целенаправленный рост кристаллов впечатляет.

5) Способность к размножению и наличие некоего аналога примитивного генотипа.

У минералов имеется также то, что можно было бы назвать примитивным генотипом и фенотипом (см. в п. 6). Относительно постоянный химический состав хромосом

данного вида называют генотипом. В результате клеточного деления ткани и органы приобретают различные формы и функции. Создаваемые ими паттерны зависят от их местоположения в организме и от физико-химической среды. Они образуют то, что было названо фенотипом. У минералов нет хромосом, но то, что минералоги называют видами минералов, характеризуется специфическим химическим составом и кристаллической структурой. Это тот постоянный химический компонент, который А. Лима-де-Фариа назвал минеротипом и который впоследствии принимает форму генотипа у растений и животных. Минералы также могут принимать различные паттерны, сохраняя при этом один и тот же минеротип. Эти паттерны также находятся под влиянием физико-химической среды. Такую способность изменять форму в зависимости от внешних факторов можно назвать фенотипом минерала – она соответствует тому, что в дальнейшем стало фенотипом у живых организмов (Лима-де-Фариа 1991: 330–331).

б) У кристаллов есть не только копирование, но и мутации, которые впоследствии становятся образцом для копирования (репликации).

Свойствами кристаллов в их сходстве с живыми организмами восхищались многие. В частности, рассказывая о взглядах А. Г. Кернс-Смита, который предположил, что жизнь началась с кристаллов, образующих минералы, Норман Хоровиц (1988: гл. 3) пишет следующее. Обладая способностью воспроизводить себе подобных, неорганические кристаллы как бы демонстрируют тем самым зачаточные генетические свойства. У них обнаруживается также ограниченная способность к мутациям, которая проявляется в том, что в регулярном расположении атомов в кристалле могут возникать дефекты. Такие обладающие слоистой структурой минералы, как глины, склонны копировать дефекты одного слоя в структуре следующего, что можно рассматривать как своеобразную генетическую память. Замечено, что дефекты в структуре кристаллических граней часто оказываются участками химической активности, включая катализ. Кернс-Смит высказал предположение, что такое простое органическое соединение, как формальдегид, синтез которого мог

катализироваться минералом, несущим подобный дефект, обладало способностью ускорять процесс воспроизведения дефектного кристалла и повышать точность копирования, в результате чего численность таких кристаллов по сравнению с другими типами быстро возрастала.

Добавлю, что, во-первых, из этого примера хорошо видны возможности для экспансии и роста популяции, во-вторых, явно видятся параллелизм в развитии разных направлений эволюции (химической, биологической и минеральной), их коэволюция и различные преадаптации, о которых мы скажем ниже.

Сравнение между кристаллами и живыми организмами очень скрупулезно провел А. Лима-де-Фариа.

Минералам присущи многие свойства, которые обычно считают характерными только для живых организмов. Указывают на пять таких свойств: 1) образование двойников; 2) неравномерность наращивания слоев; 3) замещение катионов; 4) рост в преимущественных направлениях; 5) разломы или расщепления по определенным плоскостям. Все это – свойства, изначально присущие и клеткам, и тканям, что видно из следующих сопоставлений: 1) двойники – это симметричные сростки двух одинаковых кристаллов; они напоминают клетки в начальной стадии деления; 2) неравномерности наращивания приводят к изменению направления роста, что ведет к появлению новых форм; 3) замещение катионов (у солей) можно сравнить с заменой оснований, происходящей в ДНК и ведущей к мутациям; 4) рост в преимущественных направлениях – основная причина образования характерных конфигураций; 5) прямым следствием разлома или расщепления по определенным плоскостям является разделение на идентичные или сходные образования; подобный процесс лежит в основе репродукции. Вирусы и макромолекулы внутри клетки существуют в кристаллической форме. Типы симметрии, играющие главную роль в создании столь многих паттернов у растений и животных, выражены у минералов так же четко, как у живых организмов. Кристаллы минералов обычно обладают симметрией 1-, 2-, 3-, 4- и 6-го порядков. Симметрия 5-го порядка, так часто

встречающаяся у растений и беспозвоночных, была недавно обнаружена у квазикристаллов (Лима-де-Фариа 1991: 113).

Группа эволюций и их взаимосвязи. Причины сходств в различных линиях эволюций. Рост разнообразия. Отметим, что на Земле одновременно шло несколько эволюций, тесно между собою связанных. Важно понимать, что это *во многом был единый процесс*. И хотя для научных целей можно выделять отдельные линии эволюций, они настолько тесно связаны, что одна не могла бы идти без другой либо результат был бы иным. Только коэволюция и могла дать такой рывок, благодаря которому появились первые организмы. *Биохимическая эволюция может быть рассмотрена как ответвление от геохимической. По сути, сама жизнь возникла как ответвление от геохимической эволюции и во многом еще остается ее частью.* Помимо химической и планетной (связанной с макроструктурой Земли: ядро и т. д.) также огромное значение имела собственно геологическая эволюция, которая изменяла в особенности верхний слой Земли. Но вместе с тем шла и эволюция минералов или кристаллов. При этом последние стали проявлять зачатки сложного поведения.

Эволюция кристаллов очень интересна сама по себе. Но с ретроспективной точки зрения важно, что *в этой эволюции можно увидеть попытки решить общие проблемы универсальной эволюции* – адаптации к среде, роста и экспансии, сохранения видов при внутривидовом разнообразии, репликации и саморепликации объектов с сохранением их основных характеристик (тот самый матричный способ размножения) в неограниченном масштабе. Это значит, что такие задачи стояли объективно, они решались на разных направлениях и в конце концов должны были быть решены. На уровне минералогической эволюции их удалось решить только частично, а на уровне биологической – в полном объеме.

Отметим, что возможность роста и репликации переводила борьбу за ресурсы в принципиально новое состояние, поскольку с появлением такой репликации возможность экспансии для тех или иных видов объектов расширялась колоссально. Экспансия и борьба за ресурсы – это зачатки того, что Ф. Ницше называл волей к жизни. Кроме того, эволюция кристаллов интересна и с коэволю-

ционной точки зрения, так как она шла в общей упряжке с геологической и химической эволюцией.

Можно в целом согласиться с мнением Я. А. Виньковецкого (1971: 16–17) о дивергенции минералогической и биологической эволюции.

Некогда на атомно-полимерном уровне планетная эволюция вещества испытала фундаментальную дивергенцию – расхождение на две основные линии. Одна из них (на материальной основе органических полимеров) привела к происхождению жизни; другая (на основе неорганических полимеров) – к происхождению геологических формаций земной коры и рудных месторождений. Последние являются наиболее организованными объектами неживой природы. Последнее утверждение звучит очень интересно, но мы обсудим его в следующей книге (о геологической эволюции). Ценной выглядит мысль о полимеризации как материальной основе обеих линий эволюции. «Царством полимеризации» назвал этот общий процесс на Земле П. Тейяр де Шарден (1987: 65). Но, уточняя мысль Я. А. Виньковецкого, скажем, что дивергенция произошла сначала между минералогической и абиогенной химической эволюцией, а уже потом абиогенно химическая начала трансформироваться в биологическую. Кроме того, слово «дивергенция» на первых стадиях оказывается слишком сильным, оно скорее приемлемо для более поздних фаз, а в начале пути мы можем говорить о разных линиях, которые, однако, длительное время были очень тесно связаны между собой, шли в коэволюции, и лишь заметно позже начали дивергировать, да и то не полностью.

Вся функциональная иерархия жизни – от последовательности биохимических реакций в живой клетке до глобальных циклов биофильных элементов – имеет глубокие исторические причины. Геологическая история и биологическая эволюция связаны настолько тесно, что их можно рассматривать как дополнительные процессы в развитии биосферы (Федонкин 2003). Но я бы сказал более определенно: их нужно рассматривать как коэволюцию.

Теперь становится яснее, что же определяет многие сходства минералов и живых существ.

Во-первых, указанная попытка решить эти и другие эволюционные задачи лежит в основе параллелизма в функциях минералов и живых организмов. Это похоже на параллелизм в социальной жизни насекомых и людей. Решалась задача повышения уровня за счет создания сложной социальной организации, и решалась она на разных линиях биологической эволюции. Точно так же одна линия оказалась тупиковой, другая – перспективной¹²⁴.

Во-вторых, налицо пересечение минеральной и химической эволюций. Обе эти ветви есть часть геологической и даже уже – геохимической эволюции, обе перекрываются в своих проявлениях. Поэтому можно и нужно искать у химической эволюции варианты решения тех же задач (энергетической, репликационной, экспансии и т. д.), только в отличие от минеральной эволюции многие находки химической эволюции влились впоследствии в биологическую.

В-третьих, жизнь, организмы – колоссальный геохимический фактор, который активно преобразует геологическое лицо Земли. Соответственно, это преобразование началось еще в абиогенный период химической эволюции, поэтому теснейшая связь минеральной и химической (позже биологической) линии не вызывает сомнений. Но где связь, там и взаимное влияние, а возможно, и какое-то перенимание достижений, некие симбиотические формы.

В-четвертых, имелись некие «генетические» факторы, так как минеральная эволюция на каком-то периоде обогнала химическую (не говоря о биологической) и, соответственно, оказала на них значительное влияние как предшественница. Как пишет А. Лима-де-Фариа, с появлением минералов возник минеральный импринт; он был создан из примерно 3000 существующих в природе соединений, каждое из которых принадлежит к одной из семи кристаллографических систем. Минералы входят в число непрменных компонентов многих тканей. Именно минеральные импринты создали тот каркас, на основе которого формировалась эволюция бактерий, растений и животных (Лима-де-Фариа 1991: 352). Таким образом, важно не забывать об интеграции каждого эволюционного уровня

¹²⁴ П. Тейяр де Шарден (1987: 64) так определял причины эволюционной тупиковости минеральной эволюции. Во-первых, минеральный мир несколько беднее в комбинациях, чем биологический; во-вторых, для минеральных видов, можно сказать, «биологически» характерно то, что, подобно многим бесповоротно фиксированным организмам, они пошли по пути преждевременного замыкания в самих себе. По природе своих структур молекулы минералов неспособны к увеличению.

с предшествующим. И хотя нам не так много известно о том, как формы и функции животных и растений связаны с формами и функциями минералов и как формы и функции минералов влияли на развитие жизни (Лима-де-Фариа 1991: 351), работа в этом направлении способна многое открыть в общих чертах эволюции. Кроме того, мы не должны забывать, что корни биологической эволюции следует искать в неорганической материи и что она также прошла собственный эволюционный путь, подчиняющийся собственным правилам, которые установились до появления биологического уровня (Там же: 351).

В-пятых, роль минералов высока не только в химической эволюции (как и наоборот), но и в происхождении жизни. М. А. Федонкин довольно полно обобщил ее в химической и биологической эволюции. Важнейшую роль в происхождении жизни могли играть минералы, активно организующие пространство химических реакций. Некоторые из них могли служить в качестве шаблона или сортировщика при синтезе сложных молекул, например, апатит или кальцит. Последний обладает избирательностью разных граней кристалла в отношении «левых» и «правых» молекул аминокислот. Многие минералы играли роль катализаторов, например, магнетит, вызывающий рекомбинацию атомов азота и водорода с образованием аммиака – важного соединения, из которого легче извлекается биологически необходимый азот. Глинистые минералы известны тем, что их слоистые кристаллические решетки могут улавливать короткие молекулы аминокислот в межслоевых пространствах, сохранять их там длительное время и способствовать их участию в реакциях с образованием более сложных соединений (о возможной роли глин в деле происхождения жизни см. ниже). Минералам группы цеолитов с их своеобразной кристаллической решеткой отводится роль химических фильтров, способных пропускать мелкие и задерживать крупные ионы и молекулы. Большое значение в первичных биологических реакциях придается пириту, который содержит железо и серу: эти элементы формируют активный центр многих ферментов. Пирит мог быть источником свободных электронов (на роль пиритов в биохимической эволюции указывали и другие, см. ниже).

Есть, конечно, и примеры обратного влияния химической эволюции на минеральную. Так, некоторые добавки существенно облегчают образование зародышей кристаллов. Введение в систему малого количества поверхностно-активных примесей может облегчить образование зародышей и таким образом сузить зону метастабильности. Зарождение облегчается также, если в паре присутствуют ионы (Егоров-Тисменко 2005: 19).

Некоторые паттерны, предшествующие биологической эволюции. Существуют несколько важных признаков, которые являются важными или решающими для биологической эволюции. Но некоторые предпосылки для их развития уже имелись ранее или возникли (усовершенствовались) в ходе предполагаемой химической эволюции.

Способность образовываться группами, даже большими группами, одновременно образуя сообщество. Идет дискуссия (см.: Чайковский 1999; 2006), происходил ли переход к жизни за счет усложнения отдельных образований («организмов», как полагали А. И. Опарин, Дж. Холдейн и др.) или на уровне образования ценозов. На самом деле здесь нет противоположностей. Этот переход происходил и на уровне организмов, и на уровне ценозов. *Мы помним, что звезды чаще всего рождаются большими группами.*

Способность воспроизводить, поддерживать, сохранять (а также «бороться» за сохранение) определенной формы объекта. Мы видели, что уже звезды способны поддерживать форму, в том числе за счет саморегуляции и перехода на новый вид топлива. Эта способность имеется также и у планет. Она развивается, как было показано, в процессе эволюции кристаллов.

Относительно способности воспроизводить форму при ее серьезном нарушении отметим, что она сохраняется как в филогенезе (видовом существовании), так и в онтогенезе (индивидуальном существовании). Звезды и планеты воспроизводят паттерны сферического тела (под влиянием гравитации). Если крупная планета расколется, то в итоге обе ее части воспроизведут паттерн сферического тела (с дифференциацией вещества, то есть воспроизведением не только формы, но и структуры). Еще дальше идут эти возможности в мире минералов. Кристаллическая структура послед-

них определяет их изначальную способность воспроизводить некий паттерн. Регенерация минералов делает возможным полное восстановление всего кристалла в его первоначальном виде из осколка. Оба этих процесса, имеющих первостепенное значение для клеточного деления, существовали в мире минералов задолго до возникновения генов. Явление, аналогичное сохранению паттерна при слиянии клеток, уже существует в мире кристаллов. При соединении двух кристаллов образуется один кристалл, имеющий ту же форму, но только крупнее. Клетка, образуемая при слиянии двух клеток, также сохраняет прежнюю форму и имеет более крупные размеры (Лима-де-Фариа 1991: 332–333).

Очевидно, что эта способность могла развиваться дальше и у сложных химических образований, использующих собственные механизмы (в виде катализаторов, самокатализаторов или распознавания с помощью определенных веществ).

Способность формировать защитные оболочки, создавать форму изоляции от внешней среды. О защитных оболочках звезд и планет мы много говорили ранее. Планеты имеют целый ряд защитных оболочек, и в химической эволюции также шел поиск таких оболочек, пока не появились мембраны.

Наконец, нельзя не вспомнить *правило эволюционной блочной сборки*, в результате которой уже опробованные блоки, подсистемы, «узлы» используются при формировании новых систем (организмов) в готовом виде, целиком. Образование минералов и сложных химических веществ шло с помощью полимеризации, которая является прекрасным примером эволюционной блочной сборки с выходом на формирование более сложных систем.

11.3. Некоторые идеи о подготовительных стадиях химической эволюции при переходе к возникновению жизни. О некоторых подходах и условиях

Прежде всего стоит сказать, что в абиогенный период, то есть уже до начала жизни, появились химические образования, возможно, даже химические организмы со сложным химическим поведением, по выражению Р. К. Дикерсона (1981: 95). Считается, что началу

жизни предшествовали какие-то сложные химические структуры, обладавшие теми или иными функциями, свойственными живым организмам. Ранее полагали, что важной характеристикой этих протоорганизмов могли быть мембраны из органических веществ, а также зачаточные способности к репликации, теперь же в отношении мембран распространены представления, что они могли появиться и позже (о проблеме того, что появилось вначале, мы еще будем говорить далее). Указанные протоорганизмы нередко, обобщая, называют *протобионтами*.

Протобионты – появившиеся на Земле в конце абиогенеза (около 4 млрд л. н.) примитивные организмы. Это были самоорганизующиеся, отграниченные от водного окружения системы молекул (коацерваты, по А. И. Опарину, биополимеры, по Дж. Холдейну и Дж. Берналу, маригранулы, по Х. Янагава и Ф. Эгами [Haldane 1929; 1949; Vernal 1951; Fox *et al.* 1959]), способные к репликации и трансляционному синтезу белка. По распространенным до 1970-х гг. представлениям, органические строительные блоки (абиотического происхождения) они получали из первичного океанического «бульона», так что вначале им не нужны были ферменты для синтеза этих блоков. В результате все еще частых ошибок при репродукции протобионтов возникали разные варианты, что делало возможной дальнейшую эволюцию (об ошибках в репликации и их значении для эволюции см. ниже. – Л. Г.). Общим для всех этих терминов являются попытки создать представление о коллоидных структурах, обеспечивающих в локальном пространстве обмен веществ, достаточный для жизнедеятельности. Однако во всех случаях авторы не исследовали пространственно-временную организацию этих структур (Загускин 2014: 276)¹²⁵.

Однако в первичном океане жизнь вряд ли может зародиться, поскольку для этого необходимы соответствующая концентрация и неравновесные условия (Марков 2015). Впрочем, стоит отметить: далеко не все исследователи согласны, что жизнь зародилась в по-

¹²⁵ В данном описании использованы одновременно фрагмент из С. Л. Загускина и примечаний к нему редакции издания; к этому перечню можно еще добавить зобионты по Н. Пири. Датировки времени появления жизни 4 млрд л. н. – условная, выше мы видели, что временная вилка рубежа появления жизни может включать в себя до полумиллиарда лет.

верхностных слоях океана (как считали А. И. Опарин, Дж. Холдейн, С. Миллер, Г. Юри и др.). Есть по крайней мере две гипотезы, отводящие твердым кристаллам решающую роль в происхождении живого вещества. Так, британский химик А. Кернс-Смит, о котором мы уже говорили выше, указывал, что глинистые образования могли приобрести способность адсорбировать или синтезировать на своей поверхности органические соединения – белки и нуклеиновые кислоты. В дальнейшем эти соединения могли начать самостоятельно воспроизводиться и эволюционировать. А Г. Вехтершойзер высказал гипотезу, что кристаллы пирита способны катализировать синтез (Габдуллин и др. 2011: 191). Также высказываются идеи о том, что жизнь произошла в глубинах океана, а не на поверхности. Они связаны с найденными археями (археобактериями), выдерживающими очень высокую температуру (см. выше), в самых глубоких регионах его дна, в окрестностях геотермальных источников, выбросы которых богаты водородом и другими веществами (подробнее см., например: Громов 1997). Последние, по мнению ученых, могли скапливаться на склонах пород и давать первой жизни все необходимые пищевые ресурсы и катализаторы реакций. В последнее время высказывались предположения, что органические вещества могли накапливаться в мелководных водоемах на суше, например, в системе вулканических озер, богатых энергией и разнообразными веществами. Там же могла, в принципе, зародиться и жизнь (своего рода возврат к образу «пруда» Ч. Дарвина) (Марков 2016). Это связано с идеей, что многие необходимые реакции (в частности, связанные с синтезом и РНК) нуждаются в ультрафиолете, которого в бескислородной атмосфере Земли было много. А поскольку ультрафиолетовые лучи не проходят глубже 10 метров водного слоя, то исследователи вновь возвращаются к идее зарождения жизни в верхних слоях водоемов (от совсем мелких до океана). Между тем раньше именно тот факт, что ультрафиолетовые лучи губительны для современной жизни, служил аргументом против идей вроде опаринской и холдейновской. Это обычный путь «по спирали» поиска истин в очень сложной и комплексной проблеме. Но это же показывает, что мы пока не

представляем до конца, каковы были особенности функционирования предбиологической химобиосферы и химобиоценозов.

Предбиологическая экология и обмен веществ. В принципе ясно, что в общем плане эти эволюционные идеи не противоречат друг другу. Должна была быть какая-то предбиологическая экология, в которой могли существовать различные варианты протобионтов, развивающихся в разных средах, местами взаимодействующих между собой. Отметим, что часть исследователей делают упор не только или даже не столько на конкретные древние исходные организмы, сколько на идею протобиоценозов или протоэкосистем (см. об этом: Чайковский 1999; 2006). В них могли быть различные виды протоорганизмов и цепочки их связей, а главное – складывались подходящие условия: изобилие энергии, воды, разнообразие веществ, соединение разных сред, ультрафиолет (плюс лунные приливы и пр.)¹²⁶. Соответственно, в будущем некоторые важные свойства разных линий развития могли соединиться в систему.

Здесь стоит отметить и идеи о том, что преджизнь возникла раньше протоорганизмов. Как мы уже указывали, об этом, в частности, говорил Дж. Бернал (1956; 1959; 1969), замечая, что, быть может, никакого конкретного начала жизни не было, а всю среду можно было бы назвать живой, но в биохимическом смысле, так как ни одного организма еще не существовало (Он же 1956: 490). Он ввел понятие так называемых субвитальных территорий, занимавших целые равнины, покрытые влажным субстратом, внутри которых шло постепенное обособление множества крохотных зобионтов, а лишь затем появилась наследственность. До ее возникновения процессы шли сами собой, как идут вообще природные химические процессы. Интересно, что еще в конце 1920-х – начале 1930-х гг. В. И. Вернадский высказывал мысль, что биосфера первоначально возникла в виде разнородных про-

¹²⁶ Одной из древнейших экосистем на Земле (возрастом примерно 3,5 млрд л. н.) были и остаются по сию пору строматолиты – тонкослойчатые колонны или холмики, состоящие из карбоната кальция (кальцита). Образуются они в результате жизнедеятельности прокариотного сообщества – цианобактериального мата. Это одна из самых сбалансированных экосистем за всю историю биосферы: она производит почти столько же органики и кислорода, сколько расходует в процессе своей жизнедеятельности.

тобиоценозов. Он считал, что изначально морфологический состав живой природы в биосфере должен быть сложным, и первое появление жизни при создании биосферы должно было произойти не в виде появления одного какого-нибудь вида первичных организмов, а в виде их совокупности, отвечающей геохимическим функциям жизни (см.: Вернадский 1940: 205, 207). Но В. И. Вернадский, как известно, считал жизнь своего рода атрибутом материи, полагая, что нет геохимической истории, в которой бы она не участвовала. Сходные с Дж. Берналом мысли высказывал советский биолог М. М. Камшилов (1970; 1979). Он, в частности, писал: «Одна из главных особенностей жизни – круговорот органического вещества, основанный на постоянном взаимодействии противоположных процессов синтеза и деструкции. Этот круговорот, по-видимому, возник очень рано. На его основе шло формирование всех других особенностей, отличающих живые организмы от тел неживой природы. <...> Если жизнь начала развиваться как единство процессов синтеза и деструкции органического вещества, она, по-видимому, на первых этапах не была связана с отдельными организмами. Иначе говоря, жизнь появилась раньше живых организмов» (Он же 1979: 10). Камшилов также приводит близкие по содержанию мысли известных советских биологов Б. П. Токина («Уже с самого начала возникновения органического мира мы имеем не только взаимодействие возникшего живого со своим прародителем, неорганическим миром, но и взаимодействие живых веществ, существ» [Токин 1935: 43]) и И. П. Наумова, что жизнь уже на самых ранних этапах своего развития «была возможна как круговорот веществ в природе. А ведь этот последний может осуществляться только в сообществах, объединяющих качественно различные организмы. Именно в таких сообществах и могут возникать внутренние противоречия, служащие двигательной силой эволюции» (Наумов 1956: 308). В целом идеи о неразрывной связи появления жизни и особенностей геохимических круговоротов достаточно часто высказывались в отечественной науке (об этом писал, в частности, А. С. Раутиан). Крайней точкой зрения здесь выступает так называемая гипотеза Геи английского исследователя Дж. Лавлока (идея высказана в 1970 г.), который утверждает, что не жизнь

приспособилась к условиям планеты, а физические условия на поверхности Земли, в атмосфере и океане были созданы жизнью самой для себя. Безусловно, химическая эволюция абиогенеза влияла на развитие планеты, коэволюция имела место, и здесь не было полностью ведущих и ведомых. Но утверждать первичность жизни как преобразователя – это что-то от эсхатологии, то есть идеи о неизбежности реализации некоторого события в будущем, о том, что все процессы изначально подчинены именно этой реализации (из той же категории и так называемый антропный принцип). Для полноты представлений о преджизни стоит также привести слова П. Тейяра де Шардена (1987: 56) о том, что «наличие жизни предполагает существование до нее беспредельно простирающейся преджизни».

Завершая этот фрагмент, стоит сказать, что идея развития жизни не в виде отдельных протоорганизмов, а в виде сложной системной совокупности их в протоценозах или протоэкосистемах, которые можно назвать биохимическими, выглядит достаточно продуктивной. Здесь речь может вестись именно о том, что эволюция идет на самых разных уровнях одновременно, но с различной скоростью, поэтому вперед выходят то достижения более низкого организменного уровня, то более высокого – надорганизменного или даже уровня глобального – биосферного. И высказанные выше идеи приходят в противоречие с так называемой гипотезой LUCA¹²⁷. Этот гипотетический предок должен был быть уже довольно сложным организмом. По этому поводу имеет смысл привести фрагмент из книги А. В. Маркова: в нем обсуждаются важные с точки зрения эволюции идеи, которые я выделил курсивом и дал комментарии в квадратных скобках.

Многие биологи полагают, что все разнообразие жизни на нашей планете происходит от единственного исходного вида – «универсального предка» по имени Лука. Другие, в том числе крупнейший микробиолог академик Г. А. Заварзин, с этим не согласны. Они исходят из того, что *устойчивое существование биосферы возможно только при условии относительной замкнутости биогеохимических циклов* – в противном случае живые существа очень быстро израсхо-

¹²⁷ Last universal common ancestor – последний универсальный общий предок (англ.).

дуют все ресурсы или отравят себя продуктами собственной жизнедеятельности. *Замкнутость циклов может быть обеспечена только сообществом из нескольких разных видов микроорганизмов, разделивших между собой биогеохимические функции.* Одни, используя ресурсы среды, наполняют ее продуктами своей жизнедеятельности, а другие, используя эти продукты, возвращают в качестве своих отходов первоначальный ресурс во внешнюю среду. Примером такого сообщества являются цианобактериальные маты (см. о них выше). Г. А. Заварзин считает, что *организм, способный в одиночку замкнуть круговорот, так же невозможен, как и вечный двигатель*¹²⁸. (Таким образом, речь идет о крупной надорганизменной системе, в которой в конечном счете развитие приводит к формированию определенного круговорота веществ. И эта система не может возникнуть без сложной кооперации, определенных взаимосвязей и взаимозависимостей, которые ведут к подгонке разных объектов друг к другу и к общим внешним условиям. Но, добавим, даже при наличии многих участников такого взаимодействия установление более или менее устойчивого равновесия – это длительный и сложный процесс, причем перемежающийся более или менее сильными кризисами. И здесь можно полностью согласиться, что речь не могла идти об одном типе организмов.)

Для этапа химической преджизни это еще более очевидно. Никакая отдельно взятая органическая молекула не сможет устойчиво самовоспроизводиться и поддерживать гомеостаз в окружающей среде. На это способны только комплексы из довольно большого числа разных молекул, между которыми наладилось «взаимовыгодное сотрудничество» (симбиоз). Если принять этот ход рассуждений, то окажется, что, скорее всего, Лука был не единственным видом микроорганизмов, а полиморфным сообществом, в котором происходил активный обмен наследственным материалом между ор-

¹²⁸ Универсальный предок не может существовать, поскольку он представлял бы собой «вечный двигатель», даже будучи фототрофом – автотрофным днем и гетеротрофным ночью. Представление об «универсальных предках» логически противоречиво. Изначальная группировка микроорганизмов должна была быть разнородной и функционально комплементарной. Иные группировки не могли быть устойчивыми и существовать в течение геологически длительного времени (Заварзин 2003).

ганизмами. Разнообразие, симбиоз, разделение функций и информационный обмен – изначальные свойства земной жизни (Марков 2014: 32). (И добавим, что это свойство не только жизни, но и других форм движения материи, других видов эволюции. В связи со сказанным вовсе неудивительно, что Лука, по представлениям многих, был не унитарным организмом, а своего рода сообществом неких клеток, отличающихся от прокариотических более примитивными чертами [Martin 1999; Woese 2000; Марков 2015; см. также: Анисимов 2013]¹²⁹.)

Энергетические и иные аспекты. Саморазвитие, самоорганизация и самоусложнение систем химической эволюции, естественно, должны быть обусловлены постоянным потоком трансформируемой энергии. Концентрация необходимых веществ, как и их перемещение, перемешивание, а также другие факторы, были очень важны. Соответственно, энергетический аспект развития химической эволюции исключительно значим (хотя исследований в этом плане немного, см.: Печуркин 2010)¹³⁰. Энергетический аспект важен всегда, но с учетом того, что химическая энергия стала основным источником энергии для биологических систем, нужно особенно отметить, что развитие способности производить больше энергии, распределять и запасать ее являлось как инновацией химического эволюционного процесса, так и залогом его успешности. Можно указать на некоторые моменты развития энергетической линии химической эволюции. Здесь следует выделить два аспекта: внешние условия, обеспечивающие достаточное или даже избыточное количество энергии и веществ, и внутренние процессы, связанные с ростом способности абсорбировать энергию, трансформировать и запасать ее, создавая достаточное количество энергии для

¹²⁹ Общий предок мог существовать до ДНК. По некоторым оценкам, его возраст около 4,3 млрд лет (Sheridan *et al.* 2003; см. также: Анисимов 2013), но, скорее всего, он моложе. Потомки общего предка разделились на две великие ветви – бактерии и археи (Марков 2014: 32; Митрофанов 2017: 318).

¹³⁰ В основе жизнедеятельности лежат биохимические реакции, связанные с переносом электрона. Жизнь возникла в среде, насыщенной свободными электронами. Такой представляется бескислородная среда гидротермальных систем или горячего океана ранней Земли. Однако не менее важно постоянное присутствие электрохимических градиентов для поддержания потока электронов и структурной организации проводящих систем (Федонкин 2003).

существования протоорганизмов, а также для экспансии их видов. Оба аспекта теснейше связаны, второй – наиболее важный для эволюции – формировался как бесконечный поиск ответов на изменяющиеся внешние условия.

Внешние условия. В целом первичные условия на Земле вполне обеспечивали мощные дополнительные притоки энергии, тем более что в начальный период формирования Земли пропитывающие земной грунт воды непрерывно перемещали растворенные в них вещества из мест их образования в места накопления. *За счет притока и накопления веществ и могли возникать* в местах, подобных вышеописанным мелководным водоемам и протобиоценозам, *системы органических веществ*, способных взаимодействовать с окружающей средой, расти и развиваться за счет поглощения из окружающей среды разнообразных богатых энергией веществ (Горелов 2010: 132–133). Еще и сегодня немало таких мест. Недаром очень популярны теории зарождения жизни в районе подводных гейзеров (черных курильщиков, белых курильщиков и др.).

Говоря о первичных условиях, в которых и осуществился важнейший переход к новому (в данном случае сначала формированию преджизни, а потом и жизни), следует помнить правило эволюции: для первичного перехода к новому требуются не просто особые, но уникальные условия. Из него следует, что последующие переходы (в других местах, в другое время) никогда не происходят в тех же условиях, в которых осуществляются самые первые прорывы. Станут ли когда-то точно известны эти уникальные условия в конце пятого – начале четвертого миллиарда лет от возникновения Земли? Едва ли. Но, во-первых, повторим, со стопроцентной вероятностью можно предполагать, что должно было быть изобилие легкодоступной энергии (здесь А. И. Опарин и другие исследователи, конечно, правы). Во-вторых, неравновесность многими отмечается как важное и необходимое внешнее условие эволюционного развития, также связанное с обилием энергии.

В-третьих, это нестационарность. Стационарность означает неизменность условий, а неизменность препятствует развитию, так как внешних мощных стимулов для этого нет. Изменение внешних условий становилось толчком для движения вперед. Из сказанного

следует, в частности, что появление химических систем относительно замкнутых, возможно, было уже более поздним достижением химической эволюции, когда либо условия перестали быть стабильными, либо температурные показатели ухудшились и т. п. Протобионты с мембранами, конечно, могли появиться и достаточно рано, но они бы не имели до некоторых пор эволюционных преимуществ, это качество оставалось какое-то время на уровне важной преадаптации. И, как мы уже говорили, у современных исследователей, занимающихся проблемами происхождения жизни, по поводу времени появления липидных мембран особенно много несогласия. Данное событие относят как к ранним стадиям, так и к поздним (Марков 2015). При этом обнаружено, что, например, в сложных минеральных построениях в результате работы некоторых подводных гейзеров и горячих источников возникают многочисленные минеральные полости, в которых могут накапливаться необходимые вещества. Иными словами, в таких условиях мембраны были не особенно нужны (Там же). Но я полагаю, что последние могли появиться и на ранних стадиях, однако их роль резко возросла на более поздних, что и могло способствовать образованию клеток. *Практически всегда важные движения к качественно новым уровням опираются на уже имеющиеся преадаптации.*

Внутренние условия. Надо отметить: а) способность у этих прототоорганизмов к экспансии и численному росту; б) выше сказано о неравновесности. А неравновесность могла достигаться именно за счет дополнительной энергии и концентрации веществ. Но так могло быть только в особых местах. А поскольку особые условия все же достаточно редки, то возможность расширения и экспансии резко ограничивалась. Дальнейшее развитие могло быть связано с совершенствованием энергетических механизмов (ведь в будущем именно энергия, получаемая из химических реакций, станет основной для живых существ). Уже на первых этапах абиогенной химической эволюции важное значение могли иметь источники и переносчики внутренней химической энергии, такие как АТФ, SH-соединения, пирофосфаты и др. (Титаев 1974: 28–33). АТФ, в частности, была синтезирована из аденина и этилфосфата еще в 1960-х гг. (Там же: 28). Аденин, точнее, его химический предшественник, не-

давно был найден и в космосе, в межзвездном газе. Вещество было обнаружено в окрестностях протозвезды солнечного типа (Глянцев 2019). Но все же АТФ – молекула довольно сложная, поэтому логично предположить, что использовалось что-то пусть не столь эффективное, но похожее по действию, и главное – более простое. Действительно, группа биохимиков во главе с известным английским ученым Ником Лейном считает, что на заре жизни главной «энергетической валютой» мог служить ацетилфосфат, молекула которого, устроенная гораздо проще, подходит на эту роль по ряду свойств (Ястребов 2018). И, вероятно, не только на заре жизни, но и при продвижении к этой заре.

С энергетическим аспектом химической эволюции связан еще один крайне важный момент, который, может быть, для начала органической жизни был даже более важен, чем репликация. Речь идет о том, что *фактически многие химические протоорганизменные ценозы возникали как некий нарост на теле геохимической эволюции*, как некое ее ответвление, связанное со сверхразвитием (*такое сверхразвитие всегда имеет место, это своего рода источник преадапций*). На практике это было связано со встраиванием таких протосистем в природные геохимические процессы, активизацией их и переключением на свои нужды. Это можно понять по аналогии с нынешними простейшими прокариотами, например археями. Многие из них встроены в геохимические циклы, причем эти циклы чаще всего неорганической природы, иногда и вовсе не связанные с углеродом. А. В. Марков поясняет, что это значит.

В поверхностных оболочках Земли – литосфере, атмосфере и гидросфере – как в древности, так и поныне происходит множество химических реакций и осуществляется круговорот веществ. Прокариоты с самого начала обладали уникальными высокоэффективными катализаторами – белками-ферментами, которые, в принципе, в состоянии катализировать (то есть многократно ускорять) чуть ли не любую мыслимую химическую реакцию. Если реакция идет с выделением энергии, эта энергия может быть «подхвачена» ферментами – АТФ-синтазами – и использована для синтеза АТФ. Имея запас последнего, другие ферменты получают возможность осуществлять и такие химические реакции, ко-

торые идут не с выделением, а с поглощением энергии, в том числе синтез органики из углекислого газа. Вот, собственно, и весь секрет древней микробной жизни, ее химическая основа (Марков 2014; см. также: Заварзин 2007).

Попутно отметим, что такая способность осуществлять реакции, происходящие с поглощением энергии, то есть идти против химического течения, по типу энергетики весьма напоминает то, что сказано выше о создании элементов тяжелее железа (см. гл.10).

Можно предположить, что одно из важнейших направлений химической эволюции еще до появления собственно жизни шло по пути встраивания в геохимические процессы и развития способности: а) ускорять эти процессы с помощью катализаторов; б) использовать эти процессы себе во благо; в) запасать энергию и затем расходовать ее целенаправленно. Здесь можно предположить огромный прорыв именно в плане открытия линии развития по циклам запасаения и расходования энергии в рамках успеха и нужд протосистем и протоорганизмов. Конечно, это были намного менее эффективные энергетические механизмы, чем у архей сегодня, но самое главное, что был сделан принципиально важный шаг. А уже дальнейшее приспособление вело к повышению как эффективности этих энергетических механизмов (через развитие катализа и прочего), так и через попытки к репликации для сохранения способностей к экспансии. В течение миллиардов лет, вплоть до сегодняшнего времени, простейшие остаются частью геохимических круговоротов веществ, превратив их в биогеохимические (см.: Заварзин 2007).

В любом случае нужно отметить, что одно из принципиальных отличий абиогенной химической эволюции состояло в обретении способности к запасанию энергии путем химического преобразования в процессе жизнедеятельности системы (чего ранее не было) и дальнейшем ее использовании на собственные нужды. Появился внутренний энергетический источник эволюции.

В условиях необходимости резко повысить концентрацию веществ, эффективное использование энергии и т. п. главные эволюционные преимущества получают системы, развивающиеся на основе реакций с максимальной полезной работой. Соответственно,

особую ценность представляли экзотермические реакции (то есть реакции с внутренним источником энергии) при достаточно высоких температурах, могущие протекать в изолированной системе при этих температурах с заметной скоростью (Руденко 1969: 120, 122).

Итак, одним из важнейших направлений химической эволюции было создание систем, которые в наибольшей степени могли поддерживать условия для химических реакций, использовать их энергию и были способны воспроизводить их регулярно. Можно, таким образом, сказать, что возникновение сложных химических систем с какими-то формами отделения от внешней среды (и в направлении развития этой способности) в определенной мере является достаточно логичным результатом предшествующей эволюции. Мы помним, что создание оболочек для отделения от внешней среды и предохранения от неконтролируемого влияния внешней среды (далеко выходящего за рамки оптимальных параметров, требующихся системе) наблюдается со времен появления звезд. Оно явно продвинулось в планетной эволюции, а при более глубоком анализе мы видим, что и на уровне базовых элементов (атомов и молекул) это качество присутствует (его можно угадать даже на внутриатомном уровне и на уровне элементарных частиц, имеющих способность к сохранению структуры). *Иными словами, структурность всегда связана с какой-то формой отделения от внешней среды.* Заметим, что способность поддерживать условия для протекания реакций (температурные и многие другие) стало не просто важнейшим, но даже решающим свойством биологических систем. Стоит отметить, что это свойство развивалось до относительно недавнего времени (когда появились теплокровные животные, выращивающие плод в плаценте).

11.4. Катализ и его роль в химической эволюции

Появление катализа. Как известно (и мы говорили об этом выше), катализаторами в классической химии называют вещества, изменяющие скорость реакции, но не изменяющие своего состава и состояния. Соответственно, роль катализа в химической эволюции очень высока. Развитие катализа определяло скорости протекания

реакций, концентрации вещества, не требуя дополнительных сложных условий (например, высоких температур, высокого давления и т. п.), а потому часто определяло и самую принципиальную возможность тех или иных реакций в природе и в организме. В условиях формирования предбиологических и первых биологических организмов биохимические (точнее, *химико-биологические*) реакции были основой, и чем быстрее и точнее они совершались, тем активнее могли совершаться экспансия и эволюция данных организмов. Таким образом, для химической эволюции повышение скорости медленно идущих реакций – явно один из магистральных путей развития, а другим был путь осуществления с помощью катализаторов реакций, которые вообще не могли, «не хотели» идти в наличных условиях.

Предполагается, что на ранних этапах химической эволюции и в условиях высоких температур катализ отсутствовал. Первые его проявления начались при смягчении условий и образовании первичных твердых тел, то есть именно в процессе планетной эволюции, особенно – Солнечной системы и Земли (Садохин 2006: 208–209). Но есть предположение, что они имели место даже раньше, еще во время формирования протопланетного облака (см.: Снытников, Пармон 2004). Таким образом, к тому, что мы говорили выше (в *Главе 10*) о важности планетологического этапа химической эволюции, следует добавить и появление катализа. При этом роль катализаторов возрастала. Но общее значение катализа вплоть до образования более или менее сложных органических молекул все еще не могло быть высоким. После того как был накоплен определенный минимум номенклатуры и объема органических и неорганических соединений, прежде всего сахаров и аминокислот, роль катализа начала резко возрастать (Садохин 2006: 208–209). Таким образом, появление таких относительно несложных систем, как C_3OH , $HC = CH$, H_2CO , $HCOOH$, $HCSN$, а тем более оксикислот, аминокислот и первичных сахаров, было некаталитической подготовкой старта для большого катализа. Но отметим, что неорганические катализаторы долгое время были вполне эффективны и на ранних фазах жизни. В частности, древнейшие формы жизни поначалу активно использовали для осуществления необходимых хи-

мических реакций простые неорганические катализаторы, в первую очередь соединения железа и серы (Марков 2014). Роль катализа в развитии химических систем начала существенно возрастать после достижения стартового состояния – известного количественного минимума органических и неорганических соединений (Садохин 2006: 208–209; Химическая... 2014). В качестве вывода можно использовать слова А. А. Титаева (1974: 29): «В предбиологическую эпоху первичная Земля представляла собой колоссальную лабораторию органической химии, и ее деятельность, как всякой лаборатории, не могла обойтись без применения катализаторов».

Наконец, полезным будет также привести идеи А. П. Руденко в отношении направлений развития химической эволюции. Они связаны с ростом, повышением энергетической и информационной эффективности:

1. Интенсивности обмена веществ, обеспечивающей стационарное существование и развитие химических систем энергией.

2. Уровня организации химических систем, полезного рассеивания, уменьшения энтропии организации систем, обеспечивающей развитие химических систем.

3. Объема общей эволюционной информации (роста потока эволюционной информации), отражающей возможности длительного развития (см.: Руденко 1969: 195)¹³¹.

Важность саморазвития катализаторов. Приведенное выше определение катализаторов, несомненно, является идеализацией, поскольку реакция так или иначе влияет на катализаторы. Вся история каталитической химии свидетельствует об изменениях состава и структуры катализаторов, об их отравлении, дезактивации и необходимости регенерации или полной замены (Кузнецов 1989: 200). Поэтому настоящей сенсацией стало открытие американскими химиками А. Гуотми и Р. Каннингемом в 1958–1960 гг. явления самосовершенствования катализаторов в некоторых реакциях, в которых обычно происходили отравления и дезактивация любых катализаторов (агентов), ускоряющих химический процесс. Это было совершенно необычное в химии явление, так как ученые установили наличие химических реакций, способных «сами для себя» пере-

¹³¹ Об ограничениях подхода Руденко см. ниже.

страивать катализатор в сторону повышения его активности и селективности (Гуотми, Каннингем 1960). В *Главе 10* мы уже говорили, что химическая эволюция стала обозначать себя как автоэволюцию, и данное открытие особенно наглядно подтвердило это, так как здесь можно говорить о том, что катализаторы и самоорганизация идут вместе (Садохин 2006). Это было первым указанием не только на необходимость коренного изменения взглядов на сущность катализа, но, главное, на принципиально новый в науке эмпирический факт саморазвития химической системы (Кузнецов 1989: 200). Можно сказать, что с изменением катализаторов (их саморазвитием) появляется сравнительно малый элемент, несущий критическую функцию перестройки баланса системы (во временном, энергетическом или ином плане), который тем самым резко меняет баланс в системе и толкает ее к перестройке.

Далее было обнаружено множество случаев саморазвития каталитических систем. Раз выяснилось, что именно катализаторы способны к саморазвитию, была пересмотрена и их роль в химической эволюции. Тем более стало понятно, что роль каталитических процессов в самоорганизации должна усиливаться по мере усложнения состава и структуры химических систем (исходя из того, насколько важна роль ферментов-катализаторов в биохимических процессах в живых организмах, которые ускоряют эти процессы во многие тысячи, а то и миллионы раз, создают необходимую концентрацию вещества)¹³². В отечественной науке активно шло создание «теории эволюционного катализа», а вместе с тем и теории хемо- и биогенеза А. А. Баландиным и (в наиболее системной форме) А. П. Руденко, которая у последнего в итоге превратилась в общую теорию химической эволюции и биогенеза, но с саморазвитием катализа как ее центральной части и движущей силы. *Сущность данной теории состоит в том, что химическая эволюция представляет собой саморазвитие каталитических систем, иными словами, эво-*

¹³² Мы обычно не задумываемся над тем, что большая часть событий, происходящих в клетке, могла бы совершаться и без участия ферментов. В отсутствие ферментов клеточные реакции могли бы протекать своим порядком, но на это потребовалось бы очень много времени. Ферменты очень значительно ускоряют химические реакции, иногда в миллионы раз. Генетический код сделал возможным развитие сверхдинамичного процесса (Лима-де-Фариа 1991: 333–334 со ссылкой на: Loewy, Siekevitz 1970).

люционирующим веществом являются катализаторы, а не молекулы. Эта теория была системно оформлена ученым в конце 1960-х гг. (Руденко 1969).

Ценность подхода А. П. Руденко и его ограничения. Безусловно, Руденко прав, что поиск оптимизации и максимизации производимой работы (энергии) наряду с поиском устойчивости, достижения необходимой скорости реакций и возможности повторения условий становился инструментом отбора наиболее совершенных эволюционных изменений в химических системах. Как и во многих других смелых гипотезах, здесь видно увлечение автора одним – хотя и крайне важным – параметром изменения, а именно – ростом сложности и способности к саморазвитию катализаторов (и соответственно, процесса катализа в целом). Иными словами, эволюционирующим веществом являются катализаторы. В частности, он пишет: «Однако на всех этапах эволюции, при учете любого числа параметров развития *основной закон сохраняет неизменную черту* (выделено мной. – Л. Г.) – он показывает направленность развития, определяемую наибольшей вероятностью или скоростью осуществления тех цепей последовательных изменений каталитических систем, которые приводят к наиболее прогрессивному эволюционному эффекту» (Там же: 6). Иными словами, исследователь сводит всю химическую эволюцию к одному, хотя и очень важному элементу.

Почему нельзя сводить эволюцию только к одному элементу? Дело в том, что эволюция тогда представляется однолинейной, но в линии как бы имманентно заложено саморазвитие. *В одной линии никогда не появляются все находки и достижения*, которые мы видим в качестве ведущих уже в зрелых формах на определенном уровне развития. *Разные линии могли иметь разные достижения, которые постепенно или скачкообразно комбинировались и системно объединялись при взаимодействии эволюционных линий.* Именно эту логику перехода к новому не замечают однолинейные эволюционисты, тем самым радикально искажая процесс перехода к новому, рассматривая его почти как запрограммированный. Однако *саморазвитие* есть не некая внутренняя сила, действующая вопреки всему, а *селекция наиболее удачных ответов на те или*

иные вызовы, стоящие перед объектами, популяциями или еще большими группами. Как мы уже говорили, согласно правилам ароморфоза, отдельные ответы, родившиеся для решения конкретных сложностей или проблем, могут иногда (в редких случаях) оказаться настолько удачными, что трансформируются в универсальные и способствуют качественному росту эволюции или ее отдельных направлений. Но такая селекция может происходить только при определенной конкуренции вариантов, линий и систем. А поскольку эволюция развивается системно, не может быть так, чтобы ее постоянно вытягивал вперед только один компонент. Процесс происходит таким образом, что либо этот ведущий компонент постепенно перестраивает всю систему, либо развитие откатывается назад, то есть редуцируется к более низкому уровню. Но если система перестраивается, то обычно уже для нового рывка требуется довольно длительное время, диверсификация, заполнение ниш, соединение линий и т. п., а потом уже случается прорыв, но чаще всего лидером становится иной компонент либо группа компонентов. Таким образом происходит смена эволюционного лидера.

Здесь можно привести очень интересную идею М. Эйгена и П. Шустера (1982; Эйген 1973), которые также разрабатывали концепции, связанные с автокатализом (см. об этом ниже). Множество близких по строению молекул РНК можно называть квазивидом. Последний представляет собой совокупность «плохих» и «хороших» копий (то есть копий с большим или меньшим количеством ошибок). При определенных условиях, а именно: а) ограниченном числе особей квазивида, существующих в данное время; б) ограниченном времени существования особи; в) разной эффективности размножения для удачных и неудачных копий – можно получить циклы. В этих циклах оптимальная копия закрепляется отбором, а случайные ошибки, возникающие при несовершенном копировании, устраняются. Однако количество информации, сохраняемой и передаваемой таким путем, ограничено величиной ошибки копирования.

Эта картина представляется очень интересной с точки зрения эволюции, химической эволюции в частности. Впервые, сама идея *квазивида* исключительно плодотворна.

Таким образом, мы отходим от представления, что химические однотипные соединения постоянно одинаковы. На самом деле они весьма индивидуальны. Во-вторых, становится ясным, что процесс репликации, копирования, с одной стороны, был длительное время неточным и развитие точности копирования представляло собой очень сложную линию развития с неизвестными нам этапами и вариантами успехов. Но с другой стороны, и это совсем выпадает из внимания, такая неточность копирования (то есть химические «мутации») колоссально расширяла возможности природных экспериментов, отбора наилучших вариантов, появления целой вариации квазивидов и улучшения некоторых из них. *Таким образом, мы получаем добиологическое видообразование, добиологические мутации, добиологический отбор в процессе конкуренции и отсева неудачных вариантов.*

Возвращаясь к работе А. П. Руденко, заметим также, что хотя он стремится описать процесс как диалектический (это придает его взгляду еще большую ценность), но в реальности процесс химической эволюции был гораздо более диалектическим, потому что переход к новому качеству – это всегда необычная комбинация имеющихся достижений, которые перестраиваются в систему, и каких-то находок эволюции, которые позволяют создать принципиально новое качество.

Итак, с одной стороны, движение эволюции никогда не идет одновременно по всему фронту (это связано с *правилом локализации эволюционного прорыва* [Гринин 2017: 157]): обычно вперед вырываются какие-то отдельные подсистемы, элементы и прочие, которые становятся прорывными, локомотивными, подтягивая через то или иное время и другие элементы/подсистемы, формируя уже новый подуровень. Но, с другой стороны, никогда один и тот же компонент не может постоянно быть лидером. *Смена лидеров в любом длительном эволюционном процессе – это закон эволюции.* Мало того, очень часто прежде отстававшие элементы на новом этапе, накопив эволюционный ресурс, становятся локомотивными¹³³. Этот закон одновременно показывает, что прорывы осу-

¹³³ Здесь еще необходимо учитывать, что в процессе качественного эволюционного развития системы могут сильно увеличиваться в размерах (если они образуются путем объе-

ществляются в отдельных местах, а дальнейшее развитие эволюции идет по пути заполнения новых открывшихся ниш.

Смена лидеров эволюции в любом направлении означает, что *ресурс развития нового в определенных эволюционных направлениях и системах не бесконечен*. Только используя разные линии, направления, системы, подсистемы, элементы и объекты, эволюция может постоянно двигаться вперед к новым уровням, однако ее движение часто надолго задерживается, так как сопротивление движению к новому очень велико. По сути, можно говорить о *законе обратной пропорциональности между высотой нового уровня и необходимыми усилиями для его достижения*. Собственно, это значит, что эволюция – по крайней мере, в определенном срезе – на определенных объектах не может быть признана бесконечной. Она может приостановиться и пойти вспять либо закончиться катастрофой. И об этом нам стоит помнить, так как человечество стало предполагать, будто прогресс бесконечен сам по себе. Но это не так.

После сделанных выше замечаний и комментариев должно быть ясно, что теорию А. П. Руденко нельзя воспринимать как адекватно описывающую химическую эволюцию. Но указанные недостатки никак не умаляют важность и ценность выработки целостной и системной теории химической эволюции, напротив, даже подчеркивают вклад исследователя, который смог, опираясь на новейшие тогда методологические теории (кибернетики, системного подхода, математических методов, вероятностных подходов и др.), существенно опередить свое время. Он сумел показать механизмы развития химической эволюции хотя бы в одной линии – действительно, очень важной – развития и усложнения катализаторов вплоть до формирования информационных и управляющих центров. Это позволяет составить какое-то комплексное представление, как могла бы развиваться химическая эволюция. Также эта богатая идеями гипотеза позволяет давать важные комментарии и расширять представления об эволюции. Подробнее о теории Ру-

динения мелких систем в более крупную или получают возможности для роста). А увеличение размеров и сложности сильно меняет характер системы, в результате чего происходит рекомбинация ведущих элементов.

денко мы надеемся поговорить в другой раз, теперь же ограничимся несколькими ценными идеями, которые он высказал и которые позволяют понять общую логику движения химической эволюции в абиогенезе. В частности, он связывал процесс развития катализаторов высшего уровня с возникновением уже системы синтеза эволюционно продвинутых катализаторов. А это означает: а) достижение качества повторяемости; б) возникновение системы запоминания изменений старой эволюционной информации; в) причем ее объем возрастает (Руденко 1969: 5); г) это означает шаг на пути к созданию кода развития новых систем, к матричному воспроизводству; д) переход к новому наследственному порядку функционирования систем после совершения каждого эволюционного превращения (Там же: 396). Хотя, как уже сказано, развитие не могло идти по пути одной-единственной линии, здесь, безусловно, указаны важные эволюционные этапы, в процессе появления которых могли сыграть свою роль и катализаторы. В другом месте А. П. Руденко еще больше конкретизирует эти этапы, показывая схему, включающую идеи о переходе (здесь она изложена в нашей интерпретации):

- от простых каталитических систем к сложным (включая и этап перехода от химической эволюции неорганических катализаторов к этапу эволюции органических катализаторов);

- от простейших гетерогенных систем, состоящих из неорганических веществ, к гомогенным системам неорганических и органических веществ, а затем снова к микрогетерогенным системам органических катализаторов и т. д.;

- к формированию охранных компенсационных и стабилизирующих механизмов для поддержания условий реакций;

- к формированию вместо простого центра химической реакции (катализа) сложного;

- к формированию свойства самовоспроизведения сложных химических (и каталитических) систем. Это, безусловно, должно было в итоге придать дальнейшей их эволюции качественно новый

характер и увеличить ее темп. Это стало и важнейшей преадаптацией к биологической эволюции (Руденко 1969: 199–218)¹³⁴.

11.5. О современных взглядах на механизмы, способствующие происхождению жизни

Не имея возможности остановиться на теориях абиогенеза современности подробно (мы надеемся сделать это в другой работе), скажем об этом лишь немного. Одна из них – теория РНК мира. Она оформилась в середине 1980-х гг. Важность этой теории в том, что она представляет первой молекулой жизни РНК, а не ДНК. В организме основные функции выполняют три вида молекул. ДНК отвечает за хранение наследственной информации, то есть выполняет информационно-репликационную функцию. РНК передает информацию от ДНК к белкам, то есть выполняет информационно-коммуникационную функцию. А белки уже выполняют различные специальные функции, условно обеспечивая работу организма (рабочая функция). Согласно теории РНК мира, все функции в первичных абиотических организмах выполняли разные молекулы РНК. То есть РНК могли появиться раньше белков и тем более ДНК. В конце XX – начале XXI столетия открытия биохимиков во многом подтвердили правомерность этой гипотезы (об этом довольно много написано, см., например: Власов В. В., Власов А. В.

¹³⁴ М. Эйген и П. Шустер (1982; Эйген 1973) пришли во многом к похожим выводам относительно развития автокатализа (но позже, чем А. П. Руденко). Ими введено понятие гиперцикла, который состоит из нескольких циклических реакций, организованных таким образом, что побочные продукты одной реакции являются катализаторами другой и последняя реакция производит катализатор для первой (выше мы приводили цитату из Дж. Бернала, который высказывал подобную гипотезу). При этом такой гиперцикл, если в него будут включены на высших этапах катализа РНК, способен обеспечить в какой-то мере репликацию, накопление информации и *проявление нетерпимости* к конкурирующим каталитическим системам, а соответственно, уже обладающим зачатками отбора (курсив мой. – Л. Г.; важный момент, о котором мы выше писали, формирование работы принципа «свой – чужой»). Гиперциклы, которые сами по себе еще чистая химия, уже обладают некоторыми признаками живого: круговорот веществ и энергии, воспроизведение с наследованием информации, приспособляемость к изменяющимся условиям. Гиперциклы подвержены дарвиновскому естественному отбору, но не на уровне видов, а на уровне молекул, то есть это гипотеза о молекулярной эволюции, приведшей к созданию первой живой клетки, использующей генетический код для матричного синтеза белка (см. прим. ред. 6 в: Загускин 2014: 276). Интересные идеи об эволюции катализаторов высказывал и М. Кальвин (1971: 149–158), выдвинув теорию возвратного катализа.

2004; Марков 2014). Биохимики достаточно быстро научились получать методом искусственной эволюции и сознательного проектирования функциональные молекулы РНК, то есть рибозимы, способные связываться с кислотами, производить те или иные реакции¹³⁵. Также нужно было доказать, что РНК могут размножаться без помощи белков. Удалось продвинуться и в этом направлении. Уже найдены такие рибозимы, которые способны размножать другие рибозимы, правда, здесь еще имеются существенные ограничения. Возможно, на ранних этапах происходила репликация маленьких РНК, а затем определенные РНК могли их сшивать в длинные молекулы РНК, подбирая подходящие (Марков 2013). Таким образом, на сегодняшний день протоорганизмы, имеющие РНК, выглядят как подходящие кандидаты в предки первых живых организмов, поскольку РНК пока считаются первыми самовоспроизводящимися полимерными органическими молекулами. Но повторим, что априорно можно говорить о наличии не одной, а целого ряда различных линий, конкуренция и взаимодействие которых готовили переход к первичной жизни. И если даже гипотеза о последнем универсальном предке всего ныне живого, сокращенно называемом LUCA, верна, то вместе с ним были и продолжали развиваться иные аналоговые ветви, которые должны были оказать то или иное влияние на формирование дальнейшей жизни.

Выше мы так или иначе касались возможных этапов развития химической эволюции на стадии абиогенеза. Но, естественно, говорить об этапах и направлениях перехода ко все более сложным системам, обретающим важные преадаптации для будущей биологической эволюции, пока еще можно только в самом общем виде. В настоящее время наиболее обсуждаемой цепочкой событий является следующая (Марков 2015; 2016; об этой цепочке мы уже говорили выше): абиогенный синтез простых органических веществ

¹³⁵ Рибозимы – не совсем ферменты: по своей химической природе это не белки, а тоже молекулы РНК, только выполняющие специальные функции. Они служат катализаторами при расщеплении и сшивании других молекул РНК. У рибозимов есть интересная особенность: максимум их активности приходится на низкие температуры. То есть они фактически обеспечивают низкотемпературный катализ (Рибозимы... 2005).

Здесь мы опять сталкиваемся с комплексным развитием: катализ подкрепляет репликацию, репликация – катализ. Можно также вспомнить то, что выше сказано об идеях Эйгена и Шустера (1982) о связи автокатализа и репликации.

(происходит даже в космосе); абиогенный синтез более сложных органических соединений, представляющих как бы исходные блоки будущей жизни (вроде нуклеотидов); появление первых репликаторов, то есть объектов, способных к протобиологической эволюции, размножению и наследственной изменчивости; затем начинает работать «дарвиновский эволюционный механизм», который способствует запуску дальнейшего развития, самоорганизации жизни, дивергенции таксонов, адаптации, самосовершенствованию различных подсистем и т. п.¹³⁶ На этом этапе появляются белковый синтез, механизм трансляции, потом ДНК, первые клетки. Замечу: представляется возможным, что как между первым и вторым, так и между вторым и третьим этапами пропущены еще один-два важных этапа. Здесь кстати будет привести достаточно интересный фрагмент из статьи М. А. Федонкина (2003).

Самым существенным качеством жизни является высокая скорость биохимических реакций, которые управляются и ускоряются ферментами. Активным каталитическим центром большинства известных ферментов являются атомы металлов. Не исключено, что именно ионы металлов служили в качестве катализатора и источника электронов в начальной, возможно, доорганической фазе становления жизни.

(Обратите внимание на саму по себе очень интересную постановку вопроса: *доорганическая фаза становления жизни*. То есть ряд важных инноваций химической эволюции мог идти в рамках неорганических реакций; точнее, следует сказать, смешанных неорганических и органических реакций. Другими словами, грань между двумя областями химической эволюции была существенно меньше, чем часто представляют.) Ранние биохимические реакции проходили в насыщенной свободными электронами восстановительной среде, богатой ионами разнообразных, в том числе тяжелых, металлов-катализаторов (Williams, Frausto da Silva 1997). Становление жизни на основе органического вещества было

¹³⁶ Не углубляясь в обсуждение, просто укажем: мы уже неоднократно говорили, что сводить весь механизм биологической эволюции к дарвиновскому отбору является не просто сильным упрощением, а с точки зрения эволюционистики – в корне неверным подходом; во-первых, сами механизмы отбора гораздо более многообразны (см. об этом также в *Заключении*), во-вторых, в целом огромную роль играют другие эволюционные механизмы, правила, паттерны и т. п.

следующим этапом, детали которого активно обсуждаются в мировой литературе (сказанное хорошо подтверждает нашу идею о том, что в схеме А. В. Маркова пропущены этапы. Кроме того, это подтверждает мысль о наличии целого ряда линий химической и коэволюционно связанной с ней эволюции).

Завершая эту главу, следует сказать: все больше появляется уверенности в том, что абиогенез принципиально возможен, а также имеется определенный оптимизм в отношении вероятности разгадать загадку происхождения жизни, хотя, конечно, не столь быстро, как надеются некоторые. Тем не менее в последние десятилетия, в конце XX – начале XXI в., сделаны значительный шаг по пути разрешения этой проблемы, открыты некоторые механизмы абиогенеза, в частности абиогенного синтеза рибонуклеотидов¹³⁷, и даже наблюдается определенное ускорение подобных открытий (см.: Марков 2016).

¹³⁷ Эти нуклеотиды в принципе могут формировать РНК. При этом в конце нулевых годов был найден способ абиогенного синтеза рибонуклеотидов непосредственно из простейших углеводов и простейших азотистых соединений.