

Часть III

ХИМИЧЕСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ В КОНТЕКСТЕ ПЛАНЕТНОЙ ЭВОЛЮЦИИ

Глава 10. Химическая эволюция до начала абиогенной фазы на Земле

10.1. Предварительные идеи о химической эволюции

Возникновение представлений о химической эволюции. Эволюционная химия как определенное направление появилась в 1960-х гг. Но глубокие идеи о химической эволюции высказывались уже в 1920–1930-е гг. (в том числе А. И. Опариным, Дж. Б. С. Холдейном, В. И. Вернадским), когда появились первые серьезные гипотезы происхождения жизни и сформировалась геохимия как наука. Предположения же об эволюции химических элементов значительно старше. Так, химик У. Праут еще в 1815 г. (когда было известно всего порядка трех десятков химических элементов) высказал предположение, что все химические элементы образовались путем полимеризации водорода. Правда, на эту идею почти не обратили внимания, однако по мере развития химии становилась очевидной упорядоченность в распределении свойств в ряду элементов. Теперь представление о том, что все известные элементы являются производными водорода, общепризнано (Лима-де-Фариа 1991: 87–88; см. также: Азимов 1983). Правда, образовывались эти элементы по-разному. Так, первые три элемента – водород, гелий и литий – образовались еще до появления звезд, остальные – уже в процессе жизни звезд, но тоже различными способами.

По мере все более глубокого проникновения в структуру материи возникали и более глубокие представления о химической эволюции. Полезно будет начать эту главу с приведения выдержки из работы А. Лима-де-Фариа (1991: 90), в которой он суммирует **принципы эволюции химических элементов**. Разумеется, данные

принципы ни в коем случае не покрывают всей химической эволюции, каковая много шире, чем эволюция ее элементов, не показывают движущие силы и правила этой эволюции, но дают определенное полезное представление о ней.

1. Все элементы образовались на основе водорода. 2. Большинство элементов возникло внутри звезд. 3. Несмотря на существование множества видов частиц, физики считают, что все элементы состоят только из электронов, протонов и нейтронов в различных сочетаниях. 4. Число элементов сравнительно невелико: их немногим больше ста. 5. Комбинирование частиц оказалось возможным благодаря упорядоченности процесса превращения элементов. 6. Обратимое превращение одних элементов в другие происходит и в настоящее время; продукт превращения может превратиться в исходный элемент. 7. Число возможных видов превращений ограничено. Разрешены только определенные структуры. 8. Эволюция химических элементов носит, по выражению некоторых физиков, черты «великолепной простоты»⁹³.

Эволюционная химия и некоторые эволюционные идеи. В последней трети XX в. сложились более системные взгляды на развитие химической эволюции как на самоорганизацию, самопроизвольное движение в направлении синтеза новых химических соединений, являющихся более сложными и высокоорганизованными продуктами по сравнению с исходными веществами; на приобретение новыми соединениями качественно новых свойств, которые оказались преадаптивными для зарождения жизни («памяти»; избирательности в реакциях; репликации; наследственной информации; образования управляющих центров и др.). В результате сложилось направление эволюционной химии. Правда, в дальнейшем оно, к сожалению, не получило заметного развития и даже в настоящее время остается в основном за кадром исследования эволюции происхождения жизни. Но были совершены прорывы в другом

⁹³ Образование более сложных элементов из простых – один из ярких примеров возникновения сложного из относительно простого. Для этого, согласно М. Камшилову (1979: 6), требуются: 1) наличие массы относительно простых компонентов; 2) принципиальная способность компонентов к образованию связей; 3) источник энергии, обеспечивающий взаимодействие между компонентами; 4) условия, благоприятствующие некоторой стабильности вновь образующихся систем. Все эти условия для образования элементов до железа включительно присутствовали. Как мы покажем далее, после этого требовались уже иные энергетические условия. Отметим также, что перед нами нагляднейший паттерн – эволюционной блочной сборки, блоком для которой служил атом водорода.

плане. Исследования сложных реакций и проблем эволюции привели к выводам о том, что стационарный режим реакций, который казался естественным, вполне отвечающим уровню понимания законов природы в классической науке, является лишь частным случаем нестационарного режима. При этом было обнаружено множество нестационарных режимов, способствующих интенсификации реакции (Садохин 2006: 209). Отметим, что химия шла (правда, с отставанием), в общем потоке развития научной мысли. Это принципиальное понимание в химии очень напоминало подобные процессы в других науках⁹⁴, например в физике, где неизменные законы движения Ньютона стали лишь частным случаем теории относительности Эйнштейна; в астрономии и астрофизике, где нестационарные режимы звезд и других объектов открывались с поразительной скоростью. Даже в экономике, где в результате исследования причин циклических кризисов стало выясняться, что равновесие в экономике – лишь один и не столь частый случай среди множества неравновесных ситуаций (см., например: Кондратьев 1991 [1932]). Словом, теории неравновесных систем и перехода к новым аттракторам адаптировались в разных науках. В химии это особенно связано с трудами И. Пригожина (см., например: Пригожин 1960; 1985; Николис, Пригожин 2003), а также других классиков синергетики (см., например: Хакен 1985), которые показали, что во многих случаях у системы возникает, условно говоря, проблема «выбора», поскольку она попадает в особо неравновесные ситуации, точки бифуркации, в которых имеются различные варианты дальнейшего пути систем (это, в принципе, касается и социальных систем, см.: Гринин 2007а; 2007б; 2011б; 2014). Соответственно, это показывало один из важных механизмов движения эволюции – от развилки направлений к новому уровню, хотя понятно, что таких случаев среди множества иных (отката, боковых и зигзагообразных движений) было явное меньшинство. Однако таков путь поиска нового. При этом возникала ситуация исторической памяти и закрепления паттерна, поскольку, сделав успешный выбор между вариантами, система затем могла постоянно повторять его, согласно своего рода *правилу минимизации усилий эволю-*

⁹⁴ В связи с описанными изменениями в целом ряде естественных наук возникла и оформилась в 1980-е гг. концепция глобального эволюционизма, о котором мы еще будем говорить в *Заключении*.

ции. Эти исследования также показали, что в некоторых случаях направленность изменений в среде приводит к возникновению системы, то есть порядок возникает из беспорядка (хаоса), имеются антиэнтропийные механизмы. Таким образом, подтверждалось, что нестационарность и неравновесность – важные условия эволюционного развития, также как асимметричность (см. Главу 3). При этом понятно, что неравновесность может существовать только в открытых системах⁹⁵, поскольку она возникает за счет дополнительного притока энергии, а способность ее извлекать, запасать, трансформировать и использовать как раз и показывает уровень развития систем.

Самоорганизация, самосборка и эволюционная блочная сборка. Наконец, очень важно отметить, что развитие идей самоорганизации в науке вместе с распространением кибернетики и системного подхода дало импульс и для нового взгляда на эволюцию в целом, в которой процессы самоорганизации широко распространены и являются универсальными механизмами и паттернами. К химической эволюции также стали применять идеи отбора и самоорганизации. Но стоит заметить, что в ней, как, может быть, ни в одном другом типе эволюции, процессы самоорганизации играют особо значимую роль, *собственно, сами по себе многие химические и особенно биохимические реакции есть проявление законов самоорганизации* (см., например: Руденко 1969). Здесь будет кстати процитировать А. Лима-де-Фариа:

Термин «самосборка» был предложен биохимиками для описания способности макромолекул к спонтанной ассоциации. Сначала было установлено, что информация, заложенная в аминокислотной последовательности полипептидной цепи, может преобразовываться в стереохимическую информацию о третичной структуре; преобразование происходит путем свертывания цепи с образованием глобулярной биологически активной конформации (то есть пространственного расположения атомов в молекуле определенной конфигурации. – Л. Г.). Это превращение обусловлено физико-химическими свойствами самих молекул. Вскоре выяснилось, что способность к самосборке присуща и другим макромолеку-

⁹⁵ То есть в термодинамических системах, которые обмениваются с окружающей средой веществом, а также энергией и импульсом.

лам и целым клеточным органеллам (Лима-де-Фариа 1991: 211).

Из этого вытекает, что самосборка есть достижение химической эволюции, которым воспользовалась эволюция биологическая в организации воспроизводства важных молекул, включая ДНК. Здесь подтверждается важная идея, что для прорыва к новому надо накопить возможно больше достижений на более низких уровнях в самых разных направлениях развития. И уже одно это объясняет, почему однолинейная эволюция – это нонсенс. Нужно несколько или даже много линий развития (то есть эволюция должна быть многолинейной), часть из которых может затем сблизиться и тем самым дать мощный импульс для прорыва к новому.

Способность к самоорганизации (и в какой-то мере к самосборке) имеет место, как мы видели, на всех уровнях эволюции. Вот как об этом пишет А. Лима-де-Фариа: «Физики давно знают о спонтанной, внутренне присущей элементарным частицам способности соединяться и образовывать другие частицы и атомы, но они не употребляли термин “самосборка”, так как объединение протонов, нейтронов и электронов в атомы представлялось им естественным процессом. То же самое справедливо также в отношении организмов и сообществ. Спонтанную ассоциацию клеток и формирование организма вначале описывали как “клеточную агрегацию”, потому что во времена зарождения клеточной теории молекулярная самосборка и химическая межклеточная коммуникация были неизвестны. Впрочем, и теперь неохотно соглашались с тем доказанным фактом, что животные “сами” собираются в сообщества при помощи химических и физических информационных сигналов... Так или иначе становится ясно, что явление самосборки имеет одни и те же основные признаки на всех уровнях, от элементарных частиц до человеческих сообществ» (Лима-де-Фариа 1991: 211). Ниже ученый приводит пример самосборки вирусов. Когда Х. Л. Френкель-Конрат указал на возможность самосборки вирусных частиц из их компонентов – нуклеиновых кислот и белков, – никто в это не поверил: слишком сложной представлялась структура вирусов. Однако вскоре удалось осуществить самосборку вируса табачной мозаики. Сборка начиналась сразу после смешивания выделенных РНК и белка при соответствующем рН, и образующиеся вирусные частицы были полностью инфекционны и неотличимы от ис-

ходного вируса. Самосборка в растворе шла спонтанно, никаких дополнительных молекулярных компонентов не требовалось. Такие же результаты были получены в опытах по самосборке других вирусов, например бактериофагов (Лимаде-Фариа 1991: 213).

Да, то, что вирусы могут собираться из компонентов, выглядит фантастически и загадочно для непосвященного. Но дело в том, что у многих молекул есть своего рода избирательность, или «предпочтения», в целом – способность узнавать «родственные» или нужные компоненты (см., например: Эглинтон 1974: 52)⁹⁶. И это стало проявляться еще на абиотической фазе истории Земли, в добиологической химической эволюции (об этом у нас еще будет идти речь). Выше мы уже писали о правиле *эволюционной блочной сборки*, в результате которой уже опробованные блоки, подсистемы, «узлы» и т. п. используются при формировании новых систем (организмов) в готовом виде. Такая «блочная сборка» резко ускоряет темпы эволюции (Гринин и др. 2008: 64). Одними из первых таких «блоков» стали атомы и молекулы, в известной мере ими являлись сгустки молекулярных пылегазовых облаков, из которых образуются звезды и планетезимали (Гринин 2017: 140, 166). Соответственно, на уровне химической эволюции эволюционная блочная сборка в одной из линий стала трансформироваться в самосборку. Также важным моментом в способности «узнавания» молекул или иного типа элементов в химической эволюции является то, что по сути это зачаток *принципа «свой – чужой»*, особенно характерного для более высоких уровней – биологического и социального. Но в целом это общий паттерн поведения, важный для эволюции всех типов и всех уровней – признание своего, отвержение чужого⁹⁷. При этом чем выше уровень эволюции, тем изощреннее признаки определения «своего» или «чужого» и тем острее и многообразнее реак-

⁹⁶ Своеобразный фильтр есть в кристаллах, который обнаружил В. М. Гольдшмидт. Поскольку разные ионы имеют разные размеры (в частности, положительно заряженные ионы, анионы, намного крупнее отрицательно заряженных – катионов), их кристаллохимическая структура образует каркас, который играет роль своеобразного геохимического фильтра, способствующего дифференциации химических элементов по величине их ионов. В конкретную кристаллохимическую структуру могут войти не любые элементы, обладающие необходимой валентностью, а лишь те, ионы которых имеют соответствующий размер радиусов (Добровольский 2003: 20).

⁹⁷ Напомним, что на этом принципе построена система иммунитета высших живых организмов.

ция на ситуацию «свой – чужой». Язык таких сигналов для узнавания (или, образно говоря, пароли) принципиально разный, но общий подход к отбору (узнавание – это тоже вид отбора) на таком локально-видовом уровне, бесспорно, один. Подобная избирательность – превосходный пример, показывающий, как общий принцип эволюции может проявляться на самых разных уровнях⁹⁸. Но отметим, что химическая эволюция «изобрела» принципиально новый язык для такого избирательного поведения.

Автоэволюция. *Химическая эволюция является направленной, то есть подчиняющейся ограничениям, которые ее канализируют. Направленность эволюции означает, что в ней есть определенные тенденции, связанные с более активным использованием определенных принципов и паттернов (условно – правил и законов).* При этом эволюция в целом именно с абиогенной химической эволюции (то есть со стадии предбиологической эволюции) все более заметно выступает как саморазвивающаяся, при этом ее развитие становится ускоряющимся. Иначе говоря, она начинает приобретать черты автоэволюции (термин А. Лима-де-Фариа), то есть основные движущие силы находятся в ней самой и высвобождаются в результате развития. Это происходит за счет ряда эволюционных находок и открытий, о которых ниже еще будет идти речь. В частности, возникает автокатализ (то есть явление, когда один из реагентов одновременно выступает как катализатор либо катализатором выступает уже продукт реакции), что ускоряет дальнейшее протекание реакций. Также имеет место и саморазвитие катализаторов, происходит как их усложнение, так и появление новых катализаторов. *Аналоги автокатализа* можно найти и на других ветвях и уровнях эволюции. В частности, в биологической эволюции это наглядно проявляется в экосистемном усложнении, когда продукты отхода жизнедеятельности одних организмов становятся источником питания для других. В результате происходят усложнение и эволюция экосистем. Это все примеры круговорота вещества в природе, притом можно заметить и линии ускорения: так, чем больше отмирает растений, тем плодороднее почва и богаче «уро-

⁹⁸ И вот еще одна интересная аналогия к универсальности эволюционных паттернов. Межклеточная самосборка, в результате которой образуются ткани, походит на осаждение кристаллов из раствора (Лима-де-Фариа 1991: 221).

жай», то есть новое поколение растений. В социальной сфере продукция одной ступени производства выступает катализатором для следующей, в результате чего идет увеличение общественного продукта. В целом такой «автокатализ» является мощной базой для связанной (интегрированной) эволюции, когда одновременно и коэволюционно развиваются несколько линий эволюции, усиливая друг друга (например, геологическая эволюция, эволюция почв, экосистем и др.).

Химическая эволюция как коэволюционный процесс. Особенностью химической эволюции было то, что после образования звезд она развивалась только как часть коэволюционного процесса (см. схему стадий эволюции на Рис. 2 в *Заключении*). Сначала в рамках звездно-космической эволюции, затем планетной, далее геологической, затем абиогенной и наконец биологической. Данное перечисление как раз представляет и уровни химической эволюции. При этом важно сказать, что хотя и другие виды эволюции развивались в коэволюции (та же биологическая в коэволюции с геологической и химической), но химическая эволюция никогда не была ведущей частью в таком симбиозе, в отличие от биологической или геологической, она всегда являлась подсобной. Возможно, поэтому данному виду эволюции уделяется недостаточно внимания. Но он был абсолютно необходимой частью геологической и биологической эволюции. Химическая эволюция в этом плане стала подготовительной частью перехода к принципиально новому уровню, так же как и планетная эволюция до этого (см. Схему стадий эволюции на Рис. 2 в *Заключении*). Кроме того, химическая эволюция подготовила важные преадаптации, без которых биологическая эволюция не могла бы появиться, а именно: редупликацию, развитие катализа и др.

Напомним, что процессы и связи химической эволюции с геологической эволюцией Земли изучает геохимия. Она, в частности, исследует миграцию, концентрацию и рассеяние химических элементов (и соединений) в геологических структурах под влиянием факторов и процессов при различных термодинамических физико-химических условиях (Чертко 2008: 5). При этом температура, давление, концентрация, климат, орография (то есть особенности рельефа) и др. влияют на особенности перемещения химических элементов, а геохимические процессы приводят к их концентрации или рассеянию (Там же). Забегая вперед, скажем, что именно

в процессе развития геохимической эволюции в период до появления жизни какие-то отдаленные химические предшественники первых живых организмов образовали более высокий (но по объему достаточно маргинальный) уровень развития, из которого впоследствии начала развиваться эволюция первой жизни. Таким образом, на абиогенной стадии химическая эволюция стала несколько более самостоятельной, начиная формировать особую ветвь геохимической эволюции, но эта фаза была не слишком длительной. Химическая эволюция после появления жизни могла развиваться только в коэволюции с ней, так как и обмен веществ, и связанные с этим изменения (в том числе в газовом составе атмосферы), и разнообразие химических реакций и веществ в основном могли развиваться только в направлении биохимических реакций. Собственно, и геологическая эволюция (хотя и в меньшей степени) также стала развиваться в коэволюции с биологической.

Указанную закономерность, что **химическая эволюция всегда развивалась как часть коэволюции**, нужно постоянно иметь в виду, так как это важнейшая особенность данного направления и уровня эволюции.

10.2. Химическая эволюция до планетной эволюции

Начало химической эволюции. Напомним, что в первые сотни тысяч лет существования нашей Вселенной атомов (не говоря уже о молекулах) не было (см.: Гринин 2013). Рекомбинация атомов водорода (273 тыс. лет от Большого взрыва), связанная с выделением фотонов, создала атомы легких веществ. Появление атомов означало образование атомной структуры, основанной на связи положительно заряженных ядер и отрицательно заряженных электронов, одним из самых важных проявлений электромагнитного взаимодействия в природе. Из элементов абсолютно господствовали водород и гелий, присутствовал в небольших количествах литий. Таким образом, до появления звезд и выгорания первых из них ни о каком разнообразии химических элементов во Вселенной речи и быть не может. А без разнообразия эволюция крайне затруднена. Ее магистральный путь в таких условиях – накопление разнообразия, пока не создастся тот минимум, в рамках которого возможны новые метаморфозы.

Но был и еще один путь эволюции, которым, собственно, она в основном и шла все время после Большого взрыва, а именно: остывание Вселенной постоянно способствовало переходу к новым аттракторам и формам организации вещества. После образования атомов достаточно высокая температура препятствовала формированию из них молекул даже тех немногих веществ, которые имелись. Только постепенное остывание Вселенной привело к тому, что образовались гигантские облака молекулярного водорода. Таким образом, первый шаг к тому, чтобы могла идти химическая эволюция, был сделан. Возникла базовая структура – молекула. Но, повторим, явно не хватало разнообразия.

Напомним, что молекула – это устойчивая совокупность атомов, способная к самостоятельному существованию. И главное, что именно молекулы (а не атомы) определяют свойства вещества. Но в молекулах мы видим огромную вариативность в рамках определенного структурного элемента эволюции, элемента, который является малым блоком в строительстве систем. Молекулы большинства неорганических веществ, с которыми имели дело химики XIX в., содержат всего от двух до восьми атомов. Да и вообще, в молекулах очень немногих неорганических соединений число атомов достигает десятка. В то же время в молекулах даже простейших органических соединений содержится десять и более атомов, а нередко их число измеряется несколькими десятками. Молекулы, точнее, макромолекулы таких соединений, как крахмал или белок, можно без всякого преувеличения назвать гигантскими: в них насчитываются тысячи и даже сотни тысяч атомов (Азимов 1983).

Таким образом, до образования звезд и галактик (включая и наш Млечный путь) химическая эволюция продвинулась недалеко, до определенного момента, то есть появления новых веществ (с новым молекулярным составом), заметного развития химической эволюции просто не могло быть. По сути, это была еще подготовительная стадия химической эволюции. Число элементов было небольшим, так как не было концентрации энергии в отдельных объектах, способной преодолеть внутриатомные и внутриядерные силы. До образования первых звезд (что случилось в первые сотни миллионов лет после БВ) число химических элементов и не могло вырасти. Выгорание первых звезд (жизненный цикл которых был

небольшим и заканчивался чаще всего взрывом) постепенно стало расширять количество элементов. Имеет смысл отметить, что процесс оказался до определенного уровня самоподдерживающимся, то есть химическая эволюция на этом уровне играла одну из центральных ролей. Возникновение новых элементов делало состав новых звезд более разнообразным, возникли звезды второго поколения: в большинстве своем не столь крупные в размерах, как первые, и более долгоживущие (все благодаря тому, что увеличилось разнообразие их состава за счет новых химических элементов). В результате того, что при выгорании водорода они могли переходить на гелий, а потом на новые (более тяжелые) элементы, в них возникала и система саморегуляции (см.: Гринин Л. Е. 2013; Гринин А. Л. 2016). Одновременно на определенном этапе жизни они смогли создавать и более высокие температуры. Соответственно, и процесс создания новых элементов ускорился (ниже мы еще вернемся к этому вопросу). Таким образом, мы видим, что процесс химической эволюции шел в одной упряжке со звездно-галактической эволюцией. Налицо была их коэволюция.

Химическую эволюцию не без основания определяют как процесс необратимых изменений, приводящий к появлению новых химических соединений – продуктов, более сложных и высокоорганизованных по сравнению с исходными веществами.

В этом смысле возникновение новых элементов было лишь предэволюцией. Сначала шел процесс накопления базовых основ для химической эволюции – увеличение числа элементов и числа их комбинаций. А потом уже (здесь мы забегаем вперед) из этого разнообразия могла возникнуть иерархия в использовании элементов для новых уровней эволюции.

Приостановка химической эволюции. О наиболее распространенных химических элементах. Описанный выше процесс образования все новых элементов в результате коллапса звезд продолжался до появления железа (26-го элемента). Здесь крайне важно заметить, что химическая эволюция (как, впрочем, и любая другая, но не столь зримо, как химическая) может быть представлена и в энергетическом аспекте, поскольку в результате химических реакций энергия либо выделяется, либо поглощается. Сжигание все более тяжелых элементов до некоторых пор шло в энергетическом плане со знаком «плюс», то есть на создание нового элемента тре-

бовалось меньше энергии, чем возникало при его сжигании в недрах звезд. Но, начиная с 27-го элемента (кобальта), ситуация изменилась. Реакции пошли, условно говоря, со знаком минус. Теперь чем тяжелее был элемент, тем больше требовалось энергии и тем сильнее был дефицит энергии на его образование. Поэтому образовываться старым способом новые элементы почти не могли.

Таким образом, мы видим, что любой процесс в эволюции (и развитии) доходит до естественного конца, когда он буксует, тормозится, заходит в тупик. По сути, это результат определенного эволюционного правила заполнения ниши. Его можно сформулировать следующим образом: *определенный тренд (вектор, процесс) эволюции продолжается в избранном режиме до заполнения ниши, после чего эволюция приостанавливается и начинается поиск новых путей развития*. Длительность, интенсивность и эффективность тех или иных процессов экспансии зависит от многих причин: силы первоначального импульса, значимости полученных преимуществ (например, иногда быстро распространяются те или иные биологические таксоны или расширяются империи в результате военных преимуществ), емкости соответствующей ниши и т. п. Но рано или поздно импульс процесса ослабевает, а сопротивление ему возрастает; возникает ситуация, в эволюции аналогичная третьему закону Ньютона: «Действию всегда есть равное и противоположное противодействие». Только, в отличие от физики, в эволюции это противодействие сравнивается по силе с действием далеко не сразу. Но в любом случае речь идет о том, что наличные ресурсы развития заканчиваются, для их преодоления нужны либо дополнительные энергетические и иные ресурсы, либо новые эволюционные решения (которые условно можно назвать ароморфозами; об ароморфозах в биологии см.: Северцов С. А. 1936; Северцов А. С. 1987; Давиташвили 1972; Иорданский 1977; в социальной жизни: Гринин и др. 2008; Гринин, Коротаев 2009]).

Но вернемся к процессам звездно-химической эволюции. Очевидно, что для продолжения процесса требовалось перейти на новый уровень развития. С одной стороны, создание бесконечного числа все более тяжелых элементов энергетически не имело смысла, так как было очень затратным. С точки зрения молодой еще химической эволюции также имелись препятствия. Во-первых, возможности вступать в реакции для таких громоздких элементов бы-

ли затруднены, во-вторых, число исходных элементов в принципе не должно было быть слишком большим. Если мы посмотрим по распространенности и важности для «творения» на более высоких уровнях эволюции, то увидим, что абсолютное число элементов из наиболее распространенных – это именно первые 26 элементов, то есть до железа включительно (но и среди них наиболее распространенными являлись только часть; подробнее см. ниже). Иными словами, даже при 26 элементах разнообразия уже в основном хватало. Точнее сказать, хватало в потенции, поскольку по-настоящему химическая эволюция как развитие многообразия веществ шла еще слабо.

Новый уровень химической эволюции. Однако сила и важность эволюции заключаются в том, что она не останавливается. Эволюция может только приостановиться, ища новые ниши, варианты, механизмы, направления. И эта приостановка всегда связана с подготовкой либо к новым уровням, либо к появлению новых крупных таксонов (групп, вариаций). В случае приостановки в химической эволюции выяснилось, что есть еще потенции качественного развития, образно говоря, против энергетического течения. В целом это был прообраз будущих рывков эволюции, поскольку биологическое развитие в энергетическом плане и есть движение против энергетического течения, возможность в рамках системы преодолеть энтропию на длительный срок (но первые шаги в этом плане были сделаны раньше, в абиогенной химической эволюции – см. далее). Антиэнтропийное направление очевидно просматривается с самого начала эволюции, поскольку мы видим постоянный процесс превращения энергии в упорядоченные элементы и вещество, видим, что упорядочение энергетически выгодно. Но теперь оно перешло на новый уровень.

Для решения задачи создания элементов тяжелее железа (то есть требующих при рождении все больше энергии) эволюция выбрала путь усиления круговорота вещества. По сути, это тот же путь, который использовался с самого начала (см.: Гринин 2013), но с модификацией. Новые тяжелые вещества стали возникать в результате взрывов сверхновых. За счет фантастической температуры, которая достигалась за короткое время, и разрушения звезды преодолевалось вышеописанное препятствие отрицательного баланса энергии. Впрочем, такой вариант разворачивания эволюции

легко найти и на более высоких ее уровнях. В земной природе этот круговорот (хотя бы в виде осадков) мы наблюдаем постоянно. В живом мире круговорот веществ вообще составляет основу экологических сообществ и способ жизни множества таксонов.

В недрах последних во время их вспышек на протяжении всего около 100 секунд образуются тяжелые элементы из конца таблицы Менделеева, в том числе уран и торий (Суркова 2005: 9). Как мы уже говорили (Гринин 2013: гл. 5), весьма любопытно, что очень старые, неяркие, негорячие и немассивные звезды содержат в десятки раз меньше тяжелых элементов, чем Солнце. Это наглядное свидетельство сосуществования более и менее склонных к эволюции объектов (также наблюдаемое в биологическом мире, а частично – и в социальном). Стоит сделать и такое сравнение. Сходство и различие звезд по составу (наличию тяжелых элементов) в чем-то похоже на сходство и различие в геноме. У всех живых организмов его состав в целом одинаковый, а все огромные различия формируются небольшими (в несколько процентов) расхождениями в генах (Там же).

Итак, перед нами очень интересный *паттерн концентрации энергии в короткое время*, который в принципе может быть прослежен и на других уровнях эволюции (так быстрое уничтожение каких-то таксонов дает энергию для нового роста других таксонов; развал империи становится предпосылкой взлета на ее обломках новых государств). Такое «самопожертвование» звезд в итоге продлило линейку базовых элементов в несколько раз. Но и распространенность новых элементов во Вселенной, и их ценность в качестве дополнительных ингредиентов в будущих химических реакциях оказывались обратно пропорциональными их порядковому номеру. В итоге, поскольку, как уже было сказано, увеличение числа базовых элементов до бесконечности было бы слишком затратным и малоценным, вновь включается отрицательная обратная связь. Начиная с висмута (Bi, атомный номер 83) новое вещество становится нестабильным и распадается⁹⁹. Возникает новый вид радиоактивности. Перед нами структурное ограничение для дальнейшего разнообразия. И это структурное ограничение по мере его

⁹⁹ Нестабильны также многие изотопы более легких веществ.

нарастания уже оказалось непреодолимым (тем более что эволюционная продуктивность его преодоления стремилась к нулю).

В итоге активности сверхновых появляются звезды третьего поколения (как наше Солнце) с более сложным составом. Очевидно, что создание жизни без такой химической эволюции было бы невозможным. Поэтому рискнем предположить, что если теория панспермии и верна, то жизнь могла бы возникнуть только на планетах звезд третьего поколения как более сложных по составу.

Итак, пока развитие химической эволюции шло в основном по пути накопления разнообразия исходных элементов и обозначения его энергетических и структурных ограничений.

Следующий фрагмент описывает весь процесс образования химических элементов при различных термоядерных реакциях. Дальнейший синтез химических элементов продолжается в недрах звезд при повышении температуры. В процессе конденсации в протозвезду межзвездного газа, состоящего из водорода и гелия, в результате гравитационного сжатия температура повышается и снова становится возможной реакция образования гелия из водорода. Этот этап характеризуется температурами, не превышающими 20 млн градусов. После ядер гелия (${}^4\text{He}$) наиболее устойчивыми являются ядра углерода и кислорода (${}^{12}\text{C}$ и ${}^{16}\text{O}$). Термоядерная эпоха образования таких ядер ($T < 100$ млн К) наступает после того, как на первом этапе истощается, выгорает водород. В эту эпоху в плотных выгоревших ядрах звезд-гигантов возможно непосредственное образование углерода и кислорода (не атомов, а ядер). Дальнейшее слияние ядер гелия приводит к образованию неона и магния (${}^{20}\text{Ne}$, ${}^{24}\text{Mg}$) и т. п. Более поздняя ядерная эпоха, когда обеспечивается температура до 1 млрд К, характеризуется горением углерода. При этом образуются ядра вплоть до ${}^{27}\text{Al}$ (алюминий, атомный номер 13) и ${}^{28}\text{Si}$ (кремний, атомный номер 14). Выше 30 млрд К в реакцию вступают более тяжелые ядра, начиная с кремния ${}^{32}\text{Si}$. В условиях складывающегося при этом термодинамического равновесия синтезируются элементы вплоть до железа (атомный номер 26) и атомы близких ему элементов, ядра которых являются самыми стабильными. При этом до-

стигается минимум энергии всей системы, и более тяжелые ядра не синтезируются. Получение элементов с большими атомными номерами осуществляется по другому механизму – последовательный захват ядрами нейтронов и последующий β -распад. В подобных процессах самым тяжелым может получиться нуклид ^{181}Bi (висмут, атомный номер 83). Ядра более тяжелые, чем ^{181}Bi , синтезируются во время взрывов новых и сверхновых звезд в условиях огромной плотности нейтронных потоков, когда возможен захват ядрами нейтронов не по одному, а группами (Бондарев 2003).

Химическая эволюция до планетной эволюции: боковая линия. Помимо описанной нами магистральной линии химической эволюции, которую условно можно назвать атомной, уже в первые сотни тысяч лет возникла и боковая (латеральная) ее ветвь, которую условно можно назвать молекулярной (она, как часто бывает в эволюции, позже стала ведущей ветвью). Естественно, обе ветви развивались в определенной взаимосвязи. Молекулярная ветвь возникла, как мы видели, в результате остывания Вселенной и появления огромных облаков молекулярного водорода (в котором также были молекулярный гелий и некоторые другие молекулы). Также стоит отметить и появление вариативности в виде того, что мы называем изотопами, то есть атомы с весом, отличающимся от стандартных. Изотопы играют важную, но не магистральную роль в химической эволюции – эволюционно они решают задачу создания максимального разнообразия и вариативности.

Из молекулярных облаков, как мы знаем, образуются звезды и галактики. И когда звезды гибнут, распавшееся вещество в холодном космосе вновь превращается в распыленное, местами собираясь в облака. Этот круговорот вещества во Вселенной постепенно усложнялся. По мере возникновения новых веществ и увеличения их распространенности начиналась и история молекулярной химии. Здесь стоит отметить, что звезды и облака образуют два температурных полюса, которые – хотя и в разной степени – препятствуют химической эволюции. Слишком высокая температура в звездах разрушает не только молекулы, но и атомы, образуя звездный газ

из ядер (или даже протонов и нейтронов) и электронов¹⁰⁰. В облаках температура близка к абсолютному нулю. Тем не менее даже при такой температуре процесс создания новых веществ в облаках имеет место¹⁰¹. Интересно, что именно особого рода структура таких облаков, которые защищают молекулы от космического излучения, делает возможным существование молекул. Фактически в облаках возникли многие десятки химических соединений, включая такие важные, как вода, а также первые органические вещества. Во всяком случае, число новых веществ в облаках должно было превысить число элементов. Появление в космосе первых химических веществ стало важным событием, но только глядя на это ретроспективно. Это была первая – космохимическая – ступень чисто химической эволюции. Характерно, что на этой ступени существовали вместе как неорганические, так и органические вещества. Однако низкая температура явно была жестким ограничителем разнообразия. Между тем разнообразие требовалось в первую очередь.

В дополнение к сказанному о двух основных полюсах температур добавим, что подвижные космические тела вроде комет могли менять температуру, приближаясь или отдаляясь от звезд (соответственно, какие-то новые реакции на них при повышении температуры могли происходить). Кометы вообще сыграли достаточно интересную (и во многом еще непонятную) роль в развитии планет и жизни, во всяком случае, они могли приносить воду (как мы видели в *Главах 7–9* [Зеленый и др. 2009]), а также некоторые другие вещества, которые отсутствовали или были в недостаточном количестве на планетах. Проблема обмена веществом, таким образом,

¹⁰⁰ Возможно, верхней планкой температуры химизма является показатель около 10 тыс. °С. В таком случае при столкновении ядер происходит не их слияние, а возникновение многоядерной системы, окруженной электронами. Возникающие при этом двухъядерные и многоядерные молекулы образуют первые химические соединения (CO, CH, NO, SiO). Они присутствуют в периферийных частях звезд, горячих туманностей и других космических объектах (Добротин 1983: 89). Также было сделано обобщение экспериментального материала, который подтверждал факты самоорганизации физико-химических систем в условиях температур 3000–5000 градусов (Полак, Михайлов 1983). Здесь мы опять видим периферийность как место появления нового. Таким образом, возможности для химизма появились уже при достаточно высокой температуре, но комфортный уровень температур еще не сложился.

¹⁰¹ В середине 1970-х гг. была экспериментально показана возможность самопроизвольного перехода от простейших химических соединений к все более сложным (вплоть до аминокислот) при очень низких температурах – около 4–6 К (Гольданский 1975).

решалась не только на масштабном (в рамках звезд/галактик и облаков), но и на менее значительном (в рамках одной звездно-планетной системы) уровне. Повторим, что разнообразие, его накопление – важнейший путь эволюции, пока не заполнятся все подходящие ниши. Но без появления планет эти ниши в химической эволюции заполниться не могли.

10.3. Химическая эволюция, планетная эволюция и ранние фазы земной эволюции

Когда появились первые планеты, сказать сложно. Во всяком случае, на достаточно ранних стадиях эволюции. Однако, как мы уже говорили в *Главе 6*, с учетом малого количества химических элементов, в данном случае это были газовые планеты вроде наших Юпитера и Сатурна (только вовсе без других элементов, тогда как у солнечных планет-гигантов есть много более тяжелых, чем водород и гелий, элементов). Уже и это стало бы важным шагом, так как налицо были бы сокращение фронта эволюции, пониженные температуры и возможность для какого-либо развития химической эволюции. Здесь мы снова видим приостановку химической эволюции в одном из наиболее перспективных направлений развития. В реальности эволюция полностью никогда не приостанавливается, это происходит только с отдельными ее ветвями на отдельных направлениях. Но темп эволюции, как мы уже говорили, меняется. В процессе постепенного заполнения ниш и наращивания разнообразия он замедляется, в результате прорыва в каком-либо месте к более сложным уровням – ускоряется (но вместе с сужением фронта эволюции).

Указанная приостановка химической эволюции, возможно, продолжалась до появления силикатных планет. А последние, скорее всего, появились уже у звезд третьего поколения вроде нашего Солнца. Концентрация твердого вещества (тверди) была новым важным шагом вперед в планетно-химической коэволюции. Как мы помним, твердые элементы в современной Вселенной присутствуют в малом количестве, но после того, как газ собрался в звезде, возникает возможность концентрации такого вещества в протопланетном диске, а затем и в отдельных планетах. Напомним, что проблемами химического состава космических тел, законами распространности и распределения химических элементов во Вселен-

ной, процессами сочетания и миграции атомов при образовании космического вещества занимается наука космохимия.

Уже в процессе формирования и взаимодействия планетезималей, их разогрева и местами расплавления мы видим, что число минералов (а значит, по сути, и число новых химических веществ) стремительно возрастает. Начало планетной эволюции на силикатных планетах, когда температуры достигли благоприятного уровня, вместе с ударными явлениями, вулканической деятельностью, влиянием солнечного света (ветра), влиянием атмосфер, тем более гидросфер, диффузией, сепарацией (разделением веществ) и пр. еще более увеличивает количество химических веществ. Напомним, что в настоящее время число известных космических минералов достигает 400. Это уже высокий уровень развития эволюции.

Итак, планеты стали тем промежуточным уровнем по температуре и разнообразию, который был необходим для химической эволюции. В ходе планетной эволюции создавалось большое (по прежним меркам) разнообразие химических соединений и их вариаций, а коэволюция планетная, минералогическая и химическая в некоторых аспектах стала почти неразрывной, особенно на поверхностях планет, где соприкасались разные оболочки.

Существование атомной структуры, основанной на связи положительно заряженных ядер и отрицательно заряженных электронов, в новых условиях создало типы структур и связей, которые постепенно обеспечили большое разнообразие элементов. Последнее, в свою очередь, представляло разные (по разным основаниям) виды атомов, в том числе по видам химической связи. Поскольку энергия взаимодействий атомов характеризуется большим диапазоном, химические связи между частицами в структурах принято делить на следующие типы: металлические, ионные, ковалентные, вандерваальсовы и водородные (Егоров-Тисменко 2005: 312).

Еще одним важным моментом стала дифференциация вещества. Помимо того, что наиболее тяжелые вещества опустились в центр планет, а наиболее легкие составили кору, также произошла дифференциация на летучие элементы и жидкие вещества (что составило разные сферы планет; мы уже описывали этот процесс в *Главах 8, 9*). И в процессе обмена веществом, энергией и воздействием разных сфер друг на друга был создан новый уровень эво-

люции. В газовых планетах также были твердые вещества, но они в основном возникали в результате колоссального давления (как металлизированный водород в Юпитере), не играя решающей роли в их эволюции. Какую-то часть веществ принесли астероиды, метеориты и кометы; возможно, эти добавки были весьма важными (правило инородных элементов). Уже в космосе, а тем более на планетах имели место все основные химические реакции (соединения, разложения, замещения, обмена, переноса, распада).

Все это было значительным шагом вперед в химической эволюции. Однако дальнейшее ее продвижение до появления Солнечной системы шло не слишком активно (по крайней мере, мы можем так сказать с учетом современного уровня знаний). Иными словами, эволюция вновь приостановилась. Требовались еще более удачные условия для нового рывка, уникальное сочетание планетологической, минералогической и химической эволюции при наличии гидросферы, атмосферы и других параметров. И в конце концов такие условия обнаружились на некоторых планетах Солнечной системы, таких как Марс, но главным образом на Земле. А через некоторое время химическая эволюция на нашей планете стала направленной. Таким образом, если переход от атомарно-молекулярных уровней разрозненного (неоформленного) вещества к уровню минерального (а следовательно, оформленному и структурированному, поскольку минерал – это уже далеко не «тривиальная», а сложная и самоорганизованная система) мог начаться в космических условиях, то главное развитие он получает в геологических (Круть 1973: 174, 175). Поэтому проявление видов химических соединений означает, по сути, переход к геологическому уровню эволюции, к геологической организации (Там же: 160). Отметим попутно, что минералогия традиционно рассматривает минералы как продукты природных химических реакций, то есть связь химической эволюции и минеральной эволюции исключительно прочная, коэволюционная, реализующаяся в геохимической эволюции. Минералы образуются только из атомов, молекул или других минералов, но не из горных пород или каких-то объектов более высокого (геологического) уровня. Во всех геологических обстановках компонентой минеральных взаимодействий являются геохимические процессы, а в некоторых случаях и биогеохимические (Там же: 175).

Ниже мы кратко суммируем особенности условий на Земле для химической эволюции.

Особые условия на Земле для химической эволюции. Начнем сразу с того, что нечто очень важное на Земле пошло иначе, чем на других планетах, уже в первые сотни млн лет развития Земли. Во втором разделе этой книги некоторые факты и гипотезы о данном периоде уже были изложены. Но сейчас для нас важно, что именно эти особенности обеспечили в первые сотни миллионов лет жизни Земли достаточно бурное и мощное развитие химической эволюции, которая в итоге стала эволюцией органических веществ, а затем вышла на уровень создания сложных органических веществ. В каких-то отношениях (пока еще не определенных) условия для зарождения жизни оказались уникальными. И вовсе не случайно жизнь на Земле возникла достаточно рано, на первых фазах ее эволюции, когда эти условия еще сохранялись.

Попробуем суммировать некоторые моменты преимуществ Земли перед другими планетами, которые подтверждаются современной наукой.

Первое преимущество Земли – оптимальное космическое положение Земли перед другими планетами. По факту среди планет земной группы Земля занимала полупериферийное положение в отношении Солнца (а полупериферийность, как мы помним, часто является оптимальным местом для нового витка эволюции). Это создавало подходящий температурный диапазон (при умеренных по сравнению с Меркурием и Венерой и более высоких, чем у Марса, температурах). Напомним, что хотя развитие Земли и Марса было наиболее близким в плане появления на последнем гидросферы и относительно теплого климата, все же удаленность Марса от Солнца в итоге привела к похолоданию на этой планете. Хотя процесс похолодания на Марсе был длительным и растянулся на многие сотни миллионов лет (Зеленый и др. 2009: 1128), недостаточные температуры в принципе могли надолго затянуть и процесс образования первичных форм химических веществ, которые впоследствии, естественно, погибли.

Второе преимущество Земли – большая масса. Среди планет земной группы она имела наибольшую массу, что позволило ей удержать атмосферу и гидросферу и создало уникальные условия

для химической эволюции (при малой массе вся вода улетела в виде водяного пара в космос).

Третье преимущество Земли – наличие Луны. При этом соотношение по размерам и массе между Землей и Луной уникально для Солнечной системы и больше в ней не повторяется. Поэтому Землю рассматривают иногда как двойную планету (Зеленый и др. 2009: 1128).

Согласно предположениям некоторых ученых, Луна значительно помогла процессам зарождения жизни на нашей планете – благодаря, естественно, приливам, куда более сильным в раннем архее, чем ныне. Строгое постоянство физических условий – не тот фактор, который помог бы самоорганизации химических реакций между простыми органическими соединениями в гиперциклы и добиологической конкуренции между ними, благодаря чему и возникли первые живые организмы. Но не должно быть и слишком резкой смены физических условий. А вот периодическое затопление приливами береговой полосы, возможно, оказалось именно тем оптимумом, в котором только и могла возникнуть самоорганизация «первичного бульона» (Павлов 2006: 58; см. также: Ryder *et al.* 2000). Кроме того, присутствие Луны вызвало землетрясения и извержения вулканов, что способствовало накоплению летучих веществ и газов.

Четвертое преимущество Земли – наклон оси, который создает смену времен года, и скорость вращения вокруг оси, то есть продолжительность суток (это преимущество перед Венерой и Меркурием, у Марса близкий по значению наклон и длительность суток). Насколько это преимущество важно само по себе (тем более что длина суток на Земле из-за близости Луны изначально была намного меньше), сказать сложно, возможно, не столь важное для самых примитивных форм жизни, но в любом случае это увеличивало разнообразие условий.

Пятое преимущество Земли (по крайней мере, перед некоторыми планетами) – ее удачный качественный состав, который обеспечил химическую и биологическую эволюцию разнообразными веществами, создав в чем-то изобилие минеральных ресурсов. Есть предположения, что уже в ранней истории Земли имело

место большее разнообразие минералов, чем на других планетах (Сиротин, Лебедев 2001: 35; см. ниже). Соответственно, все это было связано и могло взаимно влиять на химическую эволюцию.

Шестое (итоговое) преимущество Земли – большее разнообразие, достигаемое за счет наличия большего количества факторов влияния. Наличие воды и атмосферы увеличило разнообразие минералов и веществ (о роли разнообразия в возможном ускорении химической эволюции см.: Варфоломеев и др. 2008: 58).

Таким образом, мы имеем изобилие минеральных, материальных и энергетических ресурсов, а также разнообразие геологических факторов влияния при подходящем температурном диапазоне, особый химический состав оболочки, водных пространств, атмосферы и др., что давало Земле преимущества. Отсутствие кислорода в атмосфере и озонового слоя также могло пойти на пользу, поскольку значительное ультрафиолетовое излучение, по мнению ряда исследователей, играло важную роль для химической и начальных фаз биологической эволюции. Словом, присутствовало в самых разных аспектах неповторимое и очень благоприятное сочетание условий (что мы формулировали как правило *совпадения уникальных условий для возникновения качественно новых явлений*). А если принять гипотезу панспермии, то становится очевидным, что если сложные вещества были занесены на Землю, то условия для их развития оказались очень подходящими.

Также высказываются интересные гипотезы об особенностях геологической эволюции на Земле, которая уже с раннего времени могла иметь отличия от других планет.

В частности, существует предположение, что образование вторичной коры происходило одновременно с зарождением гидросферы и седиментогенеза (формирование осадочных пород) в интервале 4,35–4,2 млрд л. н. Участие гидросферы, больших масс воды и осадочных пород уводило образование вторичной коры от чисто «базальтового» варианта, как это произошло на Луне, Меркурии, Марсе и, возможно, Венере, к «гранитно-базальтовому», к более глубокой дифференциации вещества, к разделению вторичной коры на протоокеаническую и протоконтинентальную еще до рубежа

в 4 млрд л. н.¹⁰² При этом образование более крупных ядер силла (верхней оболочки литосферы; речь идет, видимо, о возвышениях поверхности, протогорах. – Л. Г.) вполне могло происходить в дальнейшем в результате скучивания по механизму образования тессер на Венере (Сиротин, Лебедев 2001: 35).

Отметим также сочетание важных эволюционных правил в указанных процессах химической и химико-биологической эволюции.

Можно указать на *правило зависимости скорости эволюции от сужения ее фронта*, о котором мы уже несколько раз упоминали. Этот закон подтверждается при переходе от Универсума к Солнечной системе, от этой системы к отдельным планетам, от геологической к биологической эволюции и от нее к социальной. На планетах потенциальные возможности эволюции возрастают благодаря меньшим температурам и невозможности разогреться до исчезновения молекул или атомов.

Развитие минералов, преджизни и жизни происходило в относительно узком пространстве Земли, на поверхности, поэтому маргинальные в целом для планет элементы, такие как атмосфера, становились критически важными для новых уровней развития. Действительно, почва, представляющая тончайший слой (к тому же созданный уже в процессе развития жизни), оказался на тысячелетия самым важным для развития цивилизации. Поскольку происходит сужение области действия эволюции, всевозможные пограничные зоны становятся очень важными для прорывов (мы уже упоминали *правило повышенной эволюционности пограничных зон*). Также стоит указать на действие правила *локализации эволюционного прорыва*. Для последнего необходимо не просто совпадение многих непростых (уникальных) условий, но совпадение их в сравнительно узком (локализованном) пространстве и времени, то есть объединенных в совокупность в единич-

¹⁰² В отношении базальтов речь идет о породах эффузивного типа, то есть застывших на поверхности планеты лавах. По химическому типу это основные породы, не кислые (как граниты), содержание кремния в них не превышает 50 %. Граниты – это кислые магматические породы с содержанием кремния 80 %, интрузивного типа. Они образуются не на поверхности, а в недрах, под поверхностью, куда поднимается магма. Состоят из зерен полевого шпата, слюды и кварца.

ной системе (небольшом количестве связанных систем) и в определенном временном периоде. Все это мы видим в химической и химико-биологической эволюции в первые сотни миллионов лет на Земле.

Как уже было сказано, уникальные условия включали в себя достаточное (а скорее всего, даже избыточное) количество энергии и исходных материалов. В этой связи важным становится вопрос (который обсуждался в данной книге) о том, была ли Земля горячей, огненной или холодной. С точки зрения химической и начальной биологической эволюции оптимальным сегодня кажется горячая, но не огненная и не холодная Земля. Хотя вопрос о температуре нашей планеты (была ли она какое-то время расплавленной или нет), как долго она остывала, когда появились океаны и в каком объеме имела вода до их появления, о природе появления атмосферы и гидросферы, когда первичная кора сменилась вторичной, и многие другие остаются предметом дискуссий, тем не менее ясно, что Земля была существенно горячее, чем сегодня, внутренние источники энергии были мощнее, а атмосфера была согревающей, что с лихвой перекрывало более слабое солнечное излучение того времени. Все это, вероятно, создавало еще более удачные температурные условия для реакций. Таким образом, энергии было более чем достаточно, а плотность «заселения» являлась крайне низкой.

Отсюда могли в итоге состояться количественный рост и экспансия химических образований. Современные исследования показывают, что даже температура выше 100 °С не только не является помехой для важных химических реакций, но даже, напротив, усиливает отбор наиболее приспособленных к таким температурам сложных органических веществ, например полимеров (Варфоломеев и др. 2013).

Каковы же критерии отбора? Кто побеждает в этой конкурентной борьбе макромолекул? Какая структура в конечном итоге оказывается доминирующей в системе? Принцип отбора и конкурентные преимущества чрезвычайно просты. Они основаны на кинетических характеристиках процесса и имеют кинетическую природу:

1) преимущества имеют структуры, более эффективно концентрирующие и сорбирующие мономеры и тем самым реализующие более быстрый синтез полимерной цепи;

2) преимущества имеют структуры, более устойчивые к гидролитическому расщеплению на мономеры. Комплексы полимеров с мономерами, возможно, более устойчивы к процессам гидролиза. Побеждает более быстрый и устойчивый.

Также колоссальное конкурентное преимущество состоит в появлении каталитических свойств в гидролизе «неудачных» макромолекул, в синтезе полимеров или в синтезе мономеров (Варфоломеев и др. 2013: 288). При этом полимеризацию (пептидов) проводили в *относительно мягких условиях* при температуре 120 или 130 °С, не добиваясь большой степени полимеризации, которая может возрасти при определенных условиях (Варфоломеев и др. 2008: 64; см. также: Варфоломеев и др. 2013).

Даже некоторые живые существа (так называемые гипертермофилы, которых насчитывается более 70 видов, в основном это археи), в частности питающиеся серой из сероводорода, вполне комфортно живут в температуре более 90 °С и даже выше 100 °С, а при температуре 70 °С, они «замерзают». Есть даже сведения, что они могут успешно размножаться при температуре 122 °С (о таких видах см.: Громов 1997).

Таким образом, современные данные показывают, что высокая температура для химических образований и ценозов не была помехой, напротив, такие условия могли двигать вперед их развитие до некоторых пор. При этом снижение температуры, то есть остывание Земли, могло стать стимулом для поиска более экономичных способов реакций (катализаторы, оболочки, управляющие центры и т. п.).

10.4. Химический отбор. Химическая эволюция в добиологической фазе

Отбор в процессе планетной эволюции. Химогенез и его стадии. Мы уже говорили о том, что *отбор в том или ином виде – важнейший механизм эволюции*. Без отбора не будет движения, и химическая эволюция не является исключением. Каждый качественно новый шаг вперед так или иначе связан с отбором. Так же и созда-

ние силикатных (кремневых) планет означало процесс отбора элементов и соединений и их иерархию по важности, как в плане распространения в отдельных системах, так и в плане химической активности¹⁰³. В данном случае имеется в виду не отбор тел или систем. Это был отбор основ, базовых элементов и соединений, на которой строилась новая ветвь эволюции. В 1960-х гг., как мы уже говорили выше, появилась эволюционная химия, что было очень важным шагом вперед. В ней много внимания уделялось отбору, который происходил на протяжении длительного времени по свойствам, дававшим преимущество при переходе на более высокий уровень организации материи – биологический. В результате этого химическая эволюция обеспечила переход от химогенеза к биоге-незу (см., например: Свергузов 2014: 54; Стрельник 2012). Однако это был уже более высокий этап отбора, чем тот, который имел место на планетах. Об отборе же элементов в процессе планетной эволюции говорится реже. Соответственно, и идею *химогенеза* – своеобразного процесса «химического естественного отбора веществ», который является важнейшим в современной эволюционной химии, относят главным образом к отбору элементов в живой материи (см., например: Свергузов 2014: 58; Стрельник 2012).

Такой подход обычен для эволюционной телеологии, когда какую-либо эволюцию рассматривают прежде всего с точки зрения более высокого уровня эволюции (исходя из того, что предыдущая стадия имела своей целью переход на более высокую). Но химическая эволюция важна и сама по себе на всех ее фазах. Поэтому разумнее использовать термин «химогенез» для всех этапов отбора элементов.

Какие же этапы можно выделить в химогенезе? Наиболее крупных, на наш взгляд, три. Первый этап произошел в самом начале истории нашей Вселенной, когда сформировались атомы

¹⁰³ Так, несомненно, активность кислорода была выдающейся. В геологической истории кислород как окислитель участвовал в формировании руд железа и марганца в гипергенных условиях, а также определял миграцию и концентрирование элементов с переменной валентностью (Чертко 2008: 84). Общеизвестно, что кремний является самым распространенным элементом в минералах. Сказанное, конечно, касается и химических соединений. Вода, как мы видели, в разных агрегатных состояниях очень широко распространена в космосе и в Солнечной системе. Но ее роль на Земле на порядок или даже порядки выше. Вода является универсальной и самой важной средой миграции в земной коре и мантии (Там же: 137).

водорода и гелия – наиболее распространенные элементы во Вселенной до настоящего времени (это основа звезд, соответственно, их можно было бы назвать *стеллогены*, от лат. *stella* – звезда). Затем в течение длительного процесса отбирались элементы, которые могли составить основу твердых тел (их можно было бы назвать *минералогены*). Далее были отобраны элементы *органогены*, которые составили основу живой материи через стадию абиогенеза.

Таким образом, отбор веществ для формирования твердого вещества, а тем более Земли и земной коры, был очень важной частью химогенеза. Он в итоге запустил процесс планетной эволюции, который имеет ценность и сам по себе, и как важный этап химической, а затем и предбиологической эволюции. Отбирались вещества, которые могли обеспечить и твердь, и массу¹⁰⁴. Соответственно, ими стали не самые распространенные во Вселенной вещества, но и не самые редкие, а, так сказать, полупериферия среди элементов. И следует отметить, что именно на основе отобранных веществ смог происходить отбор элементов и далее.

В результате иерархия элементов по распространенности в этой небольшой части Вселенной существенно отличалась от того, что было во Вселенной в целом. Водород и гелий не стали ведущими элементами. Так, анализ доступного в настоящее время внеземного вещества показал его общее подобие веществу земному по химическому и минералогическому составу. Основными минералообразующими элементами во всех случаях являются *кремний*, *железо*, *алюминий*, *магний* и *титан* в окисленном состоянии, то есть при значительном включении кислорода в химические соединения (Шевченко 2014). Если же брать физически доступный слой Земли, то 98,6 % его массы составляют восемь химических элементов: 47 % – кислород, 27,5 % – кремний, 8,8 % – алюминий, 4,6 % – железо, 3,6 % – кальций, 2,6 % – натрий, 2,5 % – калий, 2,1 % – магний. Кислород, таким образом, занимает почти половину всей массы земной коры. В итоге последнюю «можно представить как решетку из атомов кислорода (соединенных один с другим), в петлях которой содержатся другие элементы» (Титаев 1974: 12 со ссылкой

¹⁰⁴ Однако нужно помнить, что в космосе эта будущая твердь находится в виде космической пыли, то есть это вещество, которое должно быть сконцентрировано и сформировано, а также то, что и в этой космической стадии также происходят химические процессы.

на: Белоусов 1954). Практически все элементы проявляются в земных условиях в составе химических соединений (Свергузов 2014: 53; см. также: Шевченко 2014). Состав элементов в коре Земли сильно похож на основные элементы внеземного твердого вещества, но есть и отличия (титан на Земле отнюдь не самый распространенный элемент, он составляет только 0,6 %). Как видно, ни углерод, ни водород – важнейшие элементы для живой материи – не входят в число наиболее распространенных веществ на Земле (водород, включая гидросферу, составляет только 0,9 %, по распространенности он занимает девятое место [Угай 1997: 293])¹⁰⁵. Естественно, что роль водорода на Земле гораздо больше, чем доля его массы, прежде всего в создании водной оболочки, без которой не было бы ни мощной предбиологической, ни тем более биологической эволюции.

Новая, эволюционно важная стадия химогенеза была связана с отбором тех элементов, которые составляют основу живых систем. Их немного. По одной классификации, то есть по доле в общей массе живого, только четыре элемента (97 %) – углерод, водород, кислород, азот. Это так называемые *макроэлементы*. За ними следует более многочисленная группа микроэлементов (см. ниже).

По другой классификации, есть шесть наиболее важных элементов, названных *органогенами*. Это углерод, водород, кислород, азот, фосфор и сера.

Отмечается, что важными, а в каких-то смыслах и определяющими, факторами в отборе химических элементов при формировании органических систем (а тем более биосистем) выступают условия соответствия этих элементов определенным требованиям, а именно: 1) способность образовывать прочные и, следовательно, энергоемкие связи; 2) эти связи должны быть лабильными (изменяемыми); 3) элементы должны быть способными к образованию новых разнообразных связей.

¹⁰⁵ Правда, если распространенность сравнивать не по массе, а по числу атомов, то дело обстоит иначе, ведь атомы водорода самые легкие. По атомным кларкам (процентному содержанию атомов) доля водорода составляет более 17 % (Водород... б. г.).

Это трио качеств базовых элементов: прочность в сочетании со способностью к изменчивости и разнообразию – можно считать универсальными для любой стадии эволюции, хотя соотношение этих качеств может и должно меняться в разных ситуациях (точнее, разные элементы отвечают за то или иное качество, а соотношение между элементами меняется).

Органогеном № 1 считается углерод. Это неудивительно. Он как никакой другой элемент способен образовывать одновременно прочные и лабильные (перестраиваемые) химические связи, создавая колоссальное разнообразие органических соединений (Свергузов 2014: 58). Азот, фосфор и сера как органогены, а также железо и магний, составляющие активные центры ферментов, также лабильны. Кислород и водород свойством лабильности обладают в меньшей мере, но являются носителями окислительных и восстановительных процессов (то есть энергетических). Как мы видели, из наиболее распространенных в земной коре элементов в органогены вошли лишь кислород и, с вышеуказанными оговорками, водород. А важнейший органоген углерод занимает по распространенности в земной коре только 16-е место. Общая весовая доля углерода, азота, фосфора и серы в поверхностных слоях Земли около 0,24 % (Там же)¹⁰⁶. За органогенами следуют 12 элементов, которые принимают участие в построении многих физиологически важных компонентов биологических систем (натрий, калий, кальций, магний, алюминий, железо, кремний, хлор, медь, цинк, кобальт, никель). Их весовая доля в организме составляет 1,6 %. Однако есть вполне убедительные мнения о высокой роли металлов в происхождении жизни (см.: Федонкин 2003; Марков 2014). При этом важно, что по ряду причин¹⁰⁷ металлы в первые сотни миллионов лет были более доступны (Федонкин 2003). Поэтому реальный отбор наиболее значимых химических элементов, по крайней мере во

¹⁰⁶ Но не надо забывать, что азот по массе составляет больше ¾ земной атмосферы. А в отношении углерода не стоит упускать из виду, что в атмосфере ранней Земли было много углекислого газа, то есть углерод был представлен более широко, а также было много аммиака, содержащего азот. То есть геохимические условия играли в указанном отборе достаточно важную роль.

¹⁰⁷ Прежде всего потому, что не было еще значительной суши и они были растворены в воде, а также по причине того, что была еще мала роль биологического фактора в аккумуляции и связывании металлов.

втором эшелоне, мог быть несколько иным. Но и к первому эшелону это может относиться из-за очень высокой роли железа (в соединениях) как энергетического носителя и катализатора в процессе зарождения жизни.

Кроме того, существует еще 20 элементов, участвующих в построении и функционировании отдельных узкоспецифических биосистем, например водорослей, состав которых определяется в известной мере питательной средой, а их весовая доля составляет около 1 %. Участие всех остальных элементов в построении биосистем практически не зафиксировано.

Итак, важно отметить, что и земная кора, и живые существа состоят в своей основе из небольшого в основном числа элементов, в процессе отбора которых ведущую роль сыграли их уникальные свойства (структурно-функциональные, энергетические и др.). Здесь мы наблюдаем реализацию *правила избыточного разнообразия*, которое позволяет «выбирать» наиболее подходящие для разных задач, обходиться в тех или иных направлениях не всей совокупностью, а избранными элементами¹⁰⁸.

Еще об отборе для биогенной химической эволюции. Крайне важно понимать, что отбор может идти на самых разных уровнях и по самым разным основаниям. Соответственно, он шел и на уровне соединений (молекул), а также на уровне сложных органических молекул.

Так, в состав живых организмов входят только тридцать основных органических молекул. Именно это ограничение состава биологических структур привело исследователей к представлению о биохимическом единстве жизни. Молекулы эти следующие: 20 L-аминокислот, пять азотистых оснований (урацил, тимин, цитозин, аденин и гуанин), два сахара (глюкоза и рибоза), один азотсодержащий спирт – холин, 16-атомная насыщенная жирная кислота (пальмитиновая) и один трехатомный спирт – глицерол. Таково ограничение, изначально наложенное на развитие клеточной структуры (Лима-де-Фариа 1991: 92).

И по мере увеличения числа веществ (как неорганических, так и – особенно – органических) процесс шел не только на уровне ба-

¹⁰⁸ Отбор продолжался и в ходе развития биосферы (см.: Колчинский 1990).

зовых химических элементов (то есть атомов). Так, из более 100 известных аминокислот в состав белков входит чуть более 20. Общеизвестно, что лишь по четыре нуклеотида ДНК и РНК лежат в основе всех сложных полимерных нуклеиновых кислот, ответственных за наследственность. Из миллионов органических соединений в построении живого участвует лишь небольшая часть (Садохин 2006: 208–209). Мы уже не раз говорили, что такое распределение достаточно типично, поскольку неравномерное распределение и концентрация – основа эволюции и миропорядка. Уменьшение разнообразия на базовом уровне дает возможность для увеличения разнообразия на порядки в надстроечных уровнях (это важное *правило иерархического разнообразия*). Поэтому здесь стоит обратить внимание на фразу А. Лима-де-Фариа об изначально наложенном ограничении. Мы и выше говорили о том, что количество элементов не могло быть бесконечным. Здесь, если пользоваться экономической терминологией, существуют *закон предельной полезности введения новых базовых элементов*, а также вытекающий из него *закон убывающей отдачи от этого*.

Но в то же время, подобно тому, что мы говорили об асимметрии (когда у живых клеток и организмов она либо лево-, либо правосторонняя), и здесь налицо некий исторический момент, не исключено – случайный, который впоследствии закрепился. С другой стороны, мы видим, что фронт эволюции существенно сузился, соответственно, и отбор наиболее подходящих элементов (на разных уровнях – от атома до нуклеотидов) и соединений мог происходить именно в условиях избыточного разнообразия.

Рост числа веществ и усложнения реакций. Пока мы в основном говорили об эволюции химических элементов. Но химическая эволюция – это прежде всего развитие химических веществ, причем направленное – в сторону увеличения многообразия и усложнения веществ и реакций, а также ускорения реакций. Уже в космосе имелись сотни веществ и минералов. С планетологической эволюцией их число должно было существенно увеличиться (особенно на Земле). В самом деле, на планетах появилось то, что отсутствовало на звездах, но было крайне необходимо для эволюционного движения – разнообразие условий. Во-первых, сочетание разных сред (твердой, газовой, жидкой); во-вторых, разница темпе-

ратур, даже их континуум: от низкой до очень высокой. Последняя возникала в результате вулканической деятельности или при падении метеоритов (чего, как мы помним, в ранний период жизни планет было очень много). В-третьих, появились разные химические среды (кислотные, щелочные, водные, нейтральные и иные); в-четвертых, присутствовали высокое давление и другие факторы, нужные для химических реакций, не говоря уже о солнечном свете, горячей лаве и магме, расплавленной сере и т. д. и т. п. Все это благоприятствовало развитию планетарного и особенно земного химизма.

Таким образом, на добиологической фазе химической эволюции должно было появиться большинство типов и подтипов химических реакций (неорганической химии). Должны были существовать многие тысячи неорганических и сотни органических веществ¹⁰⁹. В настоящий момент известно 300 тыс. неорганических соединений (Свергузов 2014: 53). Триста тысяч – само по себе гигантское разнообразие. Правда, неясно, сколько из них появилось до зарождения жизни, но, по крайней мере, можно думать о многих тысячах, а возможно, и десятках тысяч. Как уже сказано, существовало также большое количество органических соединений – более 130 (Аминокислоты... 2002).

Словом, химическая эволюция уже на добиологическом уровне достигала большого разнообразия. И это было основой возможности для перехода к новому уровню химической эволюции, а затем и к биологической¹¹⁰.

Таким образом, сначала шел процесс накопления базовых основ для химической эволюции – увеличение числа элементов и их комбинаций. А потом уже из этого разнообразия могла возникнуть иерархия в использовании элементов для новых уровней эволюции. При этом налицо правило сужения фронта эволюции, поскольку число основных элементов, как мы видели, сильно сократилось.

¹⁰⁹ Уже в 1960-е гг. число обнаруженных в неживой материи органических соединений превышало 500 (Карцев 1969: 20), с тех пор оно значительно увеличилось. Но, конечно, многие из этих веществ образовались лишь в относительно короткий срок предбиологической химической эволюции на Земле.

¹¹⁰ Чтобы представить новый уровень химической эволюции, когда она слилась с биологической, достаточно сказать, что известно несколько миллионов химических соединений, главным образом органических.

Химические реакции и пути их эволюции. Сначала несколько основных моментов о природе химических реакций. Напомним, что, по современным представлениям, основу всякого химического превращения составляет перераспределение электронов межатомных связей. Чем больше элементов накапливалось и чем разнообразнее были условия для их взаимодействия, тем более разнообразными и сложными становились химические соединения.

При достижении же многообразия химических соединений стали проявляться и важные условия для химической эволюции. Общеизвестно, что химические реакции протекают тем быстрее, чем выше температура, давление и концентрация реагентов. В природных условиях важной также является и среда, в которой эти реагенты находятся. На Земле, как мы уже сказали, были во многом подходящие условия по температуре, наличию воды, летучих веществ и т. п. Однако создание еще более благоприятных условий зависит от внешних обстоятельств. В ожидании, когда эти обстоятельства сложатся, эволюционное развитие было бы очень медленным. И эволюция пошла иным, специфическим для химической формы движения материи путем. Во-первых, путем усложнения реакций и удлинения цепочки реакций. Основопологающим для химической кинетики, которая занимается изучением скорости и особенностей протекания химических реакций, является представление о том, что исходные вещества, вступающие в химическую реакцию, чрезвычайно редко непосредственно превращаются в ее продукты. В большинстве случаев реакция проходит ряд последовательных и параллельных стадий, на которых образуются и расходуются промежуточные вещества. Число последовательных стадий может быть велико (а в цепных реакциях очень велико – их десятки и сотни тысяч).

Суть цепной реакции Н. Н. Семенов описывает так: «Энергии кванта достаточно для того, чтобы двухатомная молекула хлора распалась на отдельные атомы. Каждый из них активнее первоначальной молекулы и потому легко вступает в реакцию с молекулой водорода. Она также двухатомна. Один из ее атомов вместе с атомом хлора дает молекулу продукта – хлористого водорода, а другой атом остается свободен. Теперь он легко вступает в реакцию с ближайшей молекулой хлора, образуя другую молекулу хлористого

водорода и отдельный атом хлора... Это повторяется много-много раз, возникает как бы длинная цепь реакций» (Черникова 1989: 13).

Время жизни промежуточных веществ весьма разнообразно: одни вполне стабильны, другие существуют в равновесном состоянии доли секунды (Самыгин 2003: 257–258).

Во-вторых, эволюция пошла по пути ускорения реакций. На скорость некоторых химических реакций можно влиять присутствием небольшого количества определенных веществ, которые сами в реакции участия не принимают. Последние бывают положительными, ускоряющими реакцию (катализаторы), и отрицательными – замедляющими ее (ингибиторы). Каталитическое ускорение химической реакции называется катализом. Соответственно, эволюция пошла по пути отбора катализаторов, точнее, по нескольким путям, один из которых был связан с отбором катализаторов (подробнее об этом см. ниже).

Напомню, что реакции классифицируются по следующим основаниям: **по числу и составу исходных и образующихся веществ** (реакции соединения, разложения, замещения, обмена); **по изменениям степеней окисления** (окислительно-восстановительные и протекающие без изменения степени окисления); **по тепловому эффекту** – экзотермические (выделяющие энергию) и эндотермические (поглощающие энергию); **по направлению протекания реакции** – обратимые (химические процессы, продукты которых способны реагировать друг с другом в тех же условиях, в которых они получены, с образованием исходных веществ) и необратимые (химические процессы, продукты которых неспособны реагировать друг с другом с образованием исходных веществ); **по наличию катализатора** – каталитические и некаталитические реакции. Нередко один из продуктов реакции служит катализатором, ускоряющим эту реакцию (автокаталитические реакции). Есть и другие основания классификации.

10.5. Химическая эволюция в преддверии перехода к биологической фазе

В этом параграфе мы попробуем суммировать некоторые идеи, моменты и факты, связанные с переходом химической эволюции в ее

в основном неорганическо-химической форме к сравнительно короткому (в несколько сотен миллионов лет) периоду, который можно назвать *абиогенно органическим*.

Абиогенными называют период и процессы, связанные с появлением сложных органических веществ до возникновения жизни. Было время, когда полагали, что все органические вещества имеют биологическое происхождение. Но постепенно одно за другим органические вещества создавались искусственным путем. Соответственно, теперь общепринято мнение, что в истории Земли был период, когда природные процессы оказались способными создавать достаточно сложные органические вещества в рамках геохимической эволюции, что явилось важнейшей предпосылкой для возникновения первых проявлений жизни на Земле. Эта фаза истории Земли в катархее и, возможно, самом начале архея (эоархей), между периодом, когда условия на Земле стали более приемлемыми для зарождения жизни (если принять теорию огненной планеты: когда Земля несколько остыла, образовались первичная кора и гидросфера) и собственно зарождением жизни. Если принять во внимание, что Земля образовалась примерно 4,57 млрд л. н., какое-то время, допустим, в первые сто миллионов лет, условия для абиогенно органической химической эволюции были не особенно подходящими, а первые следы жизни иногда относят к периоду 4,0–3,8 млрд л. н. (см., например: Добрецов 2005: 45; см. также: Варфоломеев и др. 2008: 62; А. В. Марков [2014] говорит о 4,1 млрд л. н. по палеогенетическому методу)¹¹¹, то мы имеем указанный период длительностью до 550–700 млн лет, но, возможно, и меньше.

Кратко об этапах химической эволюции от Большого взрыва до появления жизни. Несмотря на довольно большие успехи в последнее время в воспроизводстве абиотических реакций, которые могли иметь место в период до возникновения жизни на Земле, поскольку геологических следов этого периода почти не осталось, многие рассуждения исследователей о нем по-прежнему имеют

¹¹¹ Но жизнь могла появиться и ранее, поэтому иногда указывается весьма большая вилка зарождения жизни, например между 4,4 и 3,85 млрд л. н. (Ryder *et al.* 2000). Но в любом случае какое-то немалое время абиогенная химическая эволюция сочеталась с зародившейся биогенной химической эволюцией, точнее, какое-то время последняя была просто ответвлением первой.

спекулятивный характер¹¹². Но в этом случае тем более полезно привлечь эволюционистику для формирования каких-либо представлений о возможностях процессов этого темного периода. Естественно, и его этапы можно обозначить только крайне предположительно. В философско-химической литературе, если говорить о «магистрале химической эволюции», встречаются такие схемы этих этапов (*снизу вверх*):

6. Химическая основа первых живых систем.

5. Надмолекулярные комплексы биополимеров, «протоклетки»: коацерваты, протеиноидные микросферы и т. п. системы.

4. Биополимеры: полипептиды (белки), полинуклеотиды (нуклеиновые кислоты), полисахариды.

3. Биомономеры, аминокислоты; нуклеиновые (азотистые) основания (аденин, тимин и др.), другие гетероциклические соединения (например, порфирин); моносахариды.

2. Органические соединения типа RCN, RCHO, RCOOH, RCH₂OH и другие (R – радикал, например H- или CH₃-).

1. Простые и в основном неорганические соединения: H₂, N₂, H₂O, CO, CO₂, HCN, NH₃, CH₄, H₂S.

0. Элементы-органогены: H, O, C, N, P, S¹¹³.

Проблемы с этой периодизацией в том, что данная «магистраль» в значительной мере выстроена логическим методом, тогда как многие процессы шли параллельно (так, ступени 2 и 3 шли в основном параллельно). Не совсем понятно, для чего ступень 0 выведена из общего процесса формирования химических элементов, поскольку отбор этих элементов относится по крайней мере к третьей фазе. В то же время реальная история образования химических элементов выпала из «магистрала». В ступенях 3–5 неясно, когда образовывались те или иные вещества; сейчас считается, что нуклеотиды и нуклеиновые кислоты (РНК) образовались раньше белков.

¹¹² А. В. Марков (2014: 14) правильно указывает, что на долгом пути к живым организмам было множество развилок, остановок, временных отступлений, всевозможных промежуточных этапов и «переходных звеньев». Что касается последних, то все они благополучно вымерли, не оставив после себя прямых потомков.

¹¹³ К сожалению, автора этой периодизации установить не удалось; глава называется «Диалектика магистрала и тупиков в развитии вещества Вселенной» (материал размещен в сети Интернет: <https://studfile.net/preview/2675164/>).

Если строить периодизацию химической эволюции, исходя из вышеизложенных процессов, то последовательность нам видится такой: 1) образование атомов первых элементов (водорода, гелия, лития); 2) образование атомов более тяжелых веществ вплоть до железа включительно; 3) образование атомов элементов тяжелее железа (возможно, здесь надо выделить два этапа: один – до висмута или иного радиоактивного элемента, другой включает образование радиоактивных элементов); 4) образование простых соединений (неорганических и органических)¹¹⁴; 5) образование соединений, связанных с формированием минералов на планетах; 6) синтез более сложных органических образований, типа нуклеотидов (на Земле); 7) синтез более сложных полимеров, еще не способных к репликации; 8) синтез репликаторов и веществ, связанных с началом жизни. Как увидит читатель, этапы 5–8 несколько отличаются от того, что представлено ниже (в изложении А. В. Маркова), за счет этапа 7.

Этапы добиологической эволюции (по А. В. Маркову [2016]): первый этап – синтез простой органики; второй – синтез сложных образований (типа нуклеотидов)¹¹⁵. Третий этап связан с появлением репликаторов; четвертый – это появление более сложных продуктов и способов их создания, то есть синтез белка, трансляторы и пр., что уже относится к самым первым этапам жизни. Пятый этап – появление последнего универсального общего предка (о нем см. ниже)¹¹⁶.

Общие рассуждения об абиогенной органической эволюции. Итак, шел процесс формирования большего разнообразия органических веществ, с большей сложностью, а главное – в большой массе. Как и любые другие, химические процессы также связаны с законом перехода количества в качество, а соответственно, *чем*

¹¹⁴ Синтез простых органических веществ может происходить в самых разных средах (в космосе, на планетах, а также рядом с геотермальными источниками и т. п.). Иногда говорят о синтезе низкомолекулярных органических соединений из газов первичной атмосферы.

¹¹⁵ Второй этап, то есть синтез из простейшей органики более сложной органики, как поясняет А. В. Марков (2014), уже должен был происходить в особых местах, богатых энергией и различными веществами. Этот этап связан с полимеризацией мономеров аминокислот, сахаров, нуклеотидов, которые могут идти на минералах.

¹¹⁶ Иногда выделяют как особый этап образование фазово обособленных систем органических веществ, отделенных от внешней среды мембранами (Михайлов 2008: разд. 4.6).

больше была масса органических веществ, тем вероятнее было появление качественно новых явлений. Распространено мнение, что первичные абиогенные органические вещества возникли в катархейское время (в период от 4,5 до 4,0 млрд л. н.) из неорганических соединений. Это подтверждается рядом экспериментов (Карцев 1969: 29; см. также: Эглинтон 1974: 52). Так ли это, сказать сложно. Действительно, общеизвестны опыты, которые доказали такую возможность. Но вполне вероятно, что развитие происходило не из неорганических веществ, а из одних органических в другие. В частности, при попадании органических веществ на Землю из космоса при наличии подходящих условий мог произойти прогресс в их трансформации¹¹⁷. Либо (а с точки зрения эволюционистики это более вероятно) одновременно имелись несколько линий таких трансформаций, включавших как неорганический, так и органический вариант. При этом большинство линий вело в тупик, но в целом создавало то многообразие, которое требуется для качественного рывка¹¹⁸.

Органические соединения абиогенного периода химической эволюции, как считали многие исследователи несколько десятков лет назад, накапливались преимущественно в океане. Считалось, что он представлял собой, по образному выражению Н. Пири, «протобиотический бульон». Океан и сегодня рассматривается некоторыми как колыбель абиотических процессов, но большинство ученых считает, что там не могло возникнуть необходимых для них неравновесных условий. Однако они могли возникнуть в отдельных сравнительно небольших и имеющих важные особенности участках океана, в том числе и на глубинах, или в результате особых процессов. По мнению некоторых ученых, важнейшее значение для протобиотических процессов и возникновения жизни име-

¹¹⁷ Так, общеизвестно, что в космосе с помощью спектрального анализа найдены такие органические вещества, как этанол C_2H_5OH . Мало того, имеются сведения, что найдена и простейшая аминокислота – глицин $C_2H_5NO_2$ (Аминокислоты... 2002). Недавно в космосе обнаружены органические молекулы с пространственной структурой.

¹¹⁸ Так, А. Лима-де-Фариа говорит, что сегодняшние ДНК и белки – это конечные продукты более простых веществ, которые существовали до них и успешно эволюционировали, образовав две отдельные, но взаимосвязанные структуры. Это были протонуклеиновые кислоты и протобелки, обладавшие способностью к самовоспроизведению. Согласно общему мнению, вначале появились простые белки, и РНК, имеющая более простое строение, предшествовала ДНК (Лима-де-Фариа 1991: 329).

ли донные осадки (пелосфера), где существенную роль мог играть минеральный катализ. Заслуживает внимания предположение Э. Дегенса (Дегенс, Ройтер 1967), что уже в океане абиогенного периода из примитивных органических молекул возникали сложные комплексы типа гуминовых веществ, которые осаждались в виде органо-минеральных смесей (Карцев 1969: 29). Стоит отметить также, что аккумулирующиеся продукты не могли подвергаться в таких условиях быстрому воздействию микроорганизмов, как это происходит сейчас в любой раскрытой среде (Эглинтон 1974: 52).

Имеется достаточно много гипотез о том, как шло развитие и накопление органических веществ, при этом ни одна из них не выглядит удовлетворительной, и – стоит отметить – с 1950-х гг. особого прогресса здесь не наблюдается. Сложность и, соответственно, ошибки заключаются в том, что чаще всего разрабатывается только одна линия такого развития, тогда как их было много, и более поздние стадии, относящиеся уже к биогенной фазе, экстраполируют на абиогенную.