

Манагадзе Г.Г.

**Плазма метеоритного  
удара и  
доббиологическая  
эволюция**



МОСКВА  
ФИЗМАТЛИТ ®

УДК 573.5, 533.9  
ББК 28.01, 22.6  
М 23



*Издание осуществлено при поддержке  
Российского фонда фундаментальных  
исследований по проекту 09-02-07009*

Манагадзе Г.Г. **Плазма метеоритного удара и добиологическая эволюция.** — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. — 352 с. — ISBN 978-5-9221-1107-2.

В книге предлагается новая концепция возможности возникновения первичных форм живой материи в процессах, сопровождающих сверхскоростной удар метеорита о поверхность планеты.

Концепция основана на результатах, полученных в прямых ударных экспериментах и в опытах по моделированию процессов сверхскоростного удара с генерацией плазменного факела в лабораторных условиях, на достоверной информации о физических процессах, происходящих в природе, а также на имеющихся материальных свидетельствах об ударных воздействиях на небесных телах Солнечной системы.

Концепция позволяет объяснить возможность возникновения внеземной жизни в недрах небесных тел с экстремальной поверхностной и умеренной на глубине температурой при наличии воды.

Книга адресована ученым и специалистам, аспирантам и студентам, занятым проблемой происхождения жизни на Земле, а также широкому кругу читателей, заинтересованных этой проблемой.

ISBN 978-5-9221-1107-2

© ФИЗМАТЛИТ, 2009

© Г.Г. Манагадзе, 2009

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие .....	5
<b>Глава 1. Ранние сценарии зарождения жизни и новая концепция</b>	
1.1. Введение .....	10
1.2. Известные механизмы синтеза органических соединений в природе .....	15
1.3. Живые системы из древнего мира РНК .....	26
1.4. Протовироид — прародитель биосферы .....	31
1.5. Основные трудности .....	34
1.6. Метеоритный удар и новая концепция .....	41
1.7. Плазменный факел как диссипативная структура .....	48
<b>Глава 2. Начальные условия, обеспеченные природой</b>	
2.1. Событие — явление — среда .....	61
2.2. Характеристики среды .....	66
2.3. Вода — ключевое вещество для зарождения жизни .....	74
2.4. Метеоритная бомбардировка и ночная мгла на Земле .....	82
<b>Глава 3. Физика и методика исследования удара</b>	
3.1. Характерные особенности удара .....	90
3.2. Процессы сверхскоростного удара в природе .....	95
3.3. Особенности разлета плазменного факела .....	99
3.4. Исследование сверхскоростного удара в лабораторных условиях .....	104
3.5. «Теплый сценарий» зарождения жизни на Земле .....	109
3.6. «Холодный сценарий» синтеза органических соединений в межзвездных облаках .....	116
<b>Глава 4. Эксперименты по синтезу органических соединений в плазменном факеле</b>	
4.1. Особенности подхода к задаче .....	125
4.2. Лазерный масс-спектрометр — инструмент для синтеза и анализа .....	128
4.3. Начальная стадия исследований .....	132
4.4. Эксперименты с большим диаметром пятна лазерного воздействия .....	140
4.5. Эксперименты с коротким временем лазерного воздействия ..	146
4.6. Синтез органических полимеров из аминокислот .....	151
4.7. Синтез нуклеотидов и их олигомеров .....	162

<b>Глава 5. Оптимизация параметров воздействия и отождествление продуктов синтеза</b>	
5.1. Необходимость оптимизации .....	168
5.2. Результаты, подтверждающие корректность моделирования ..	172
5.3. Оптимизация параметров лазерного воздействия .....	176
5.4. Отождествление и пространственное распределение карбинов	185
5.5. Синтез и отождествление аминокислот .....	190
5.6. Работы, подтверждающие концепцию .....	204
<b>Глава 6. Нарушение симметрии в плазменном факеле</b>	
6.1. Нарушение зеркальной симметрии в природе .....	211
6.2. Состояние проблемы симметрии .....	213
6.3. Результаты измерения электромагнитных полей в плазменном факеле .....	222
6.4. Поляризационные измерения факельной плазмы .....	226
6.5. «Схема зарождения» .....	231
<b>Глава 7. Внеземная жизнь и гипотетические сценарии ее зарождения</b>	
7.1. «Экстремалы» и жизнь вне Земли .....	239
7.2. Концентрация продуктов синтеза в проникающем ударе .....	243
7.3. Марс и микробная жизнь .....	248
7.4. Что защищает ледовый панцирь Европы? .....	253
7.5. Могла ли зародиться жизнь на Энцеладе или Титане? .....	259
7.6. Модель Европы и синтез органических соединений в подвод- ном факеле .....	263
7.7. Где могло зародиться первое живое существо? .....	268
7.8. Новые возможности панспермии и будущее криптобиологии .	274
<b>Глава 8. Поиск признаков внеземной жизни и «встречный удар»</b>	
8.1. Особенности подхода к задаче .....	286
8.2. Эмиссия ионов органических соединений с поверхностей кос- мических тел .....	291
8.3. Измерение элементного состава биомассы .....	297
8.4. Сверхскоростной удар в космосе без земных ограничений ...	303
8.5. Управление спутниками для реализации «встречного удара» .	306
8.6. Бортовые измерения структуры и массы органических соеди- нений .....	308
Заключение .....	314
Словарь некоторых терминов .....	328
Литература .....	330

## Предисловие автора

10 лет назад экспериментально была обнаружена (Managadze, 2001) возможность синтеза органических соединений в плазменном факеле, возникающем под воздействием излучения лазера, работающего в режиме импульсной добротности. Это свойство плазменного факела ранее не было известно. Возникло предположение, что синтез органических соединений возможен и в плазменном факеле ударной природы, так как факелы лазерного и ударного происхождения обладают высоким подобием.

Обнаруженные и исследованные экспериментально неравновесные электрические и магнитные поля, генерируемые в плазменном факеле, обладают «врожденной» асимметрией. Они отвечают требованиям локальных хиральных физических полей. Поэтому в процессе синтеза органических соединений в факеле эти поля могут обеспечить нарушение зеркальной симметрии изомеров. Предложенный новый механизм синтеза органических соединений может быть ответственным и за их образование в межзвездных газопылевых облаках при соударении частиц пыли, обладающих относительными скоростями, превышающими 15–20 км/с. Следовательно, сверхскоростной удар, обладающий огромной разрушительной силой, несет в себе и элементы созидания, затрачивая часть энергии на создание условий, необходимых для зарождения жизни.

Целенаправленные эксперименты по лабораторному моделированию удара и исследование свойств факельной плазмы показали, что разлет плазмы сопровождается процессом упорядочения образовавшихся в факеле структур органических соединений, а их масса пропорционально увеличивается с ростом характерного размера ударника. Обнаруженные свойства факельной плазмы позволяют по-новому объяснить функциональное и структурное усложнение органических соединений в процессе синтеза.

Экспериментально обнаруженные свойства факельной плазмы, в которых синтез и упорядочение сочетаются с возможностью нарушения симметрии органических соединений, позволяют рассматривать эту среду как наиболее перспективную для

синтеза первичных форм живой материи из неживой субстанции. Изучение основных физических характеристик плазменного факела показало, что эту среду можно отнести к разновидности диссипативных структур. Такие сильно неравновесные структуры, находящиеся далеко от термодинамической ветви равновесия, могли в прошлом обеспечить условия, необходимые для формирования сложных молекулярных структур.

Наиболее важные особенности факельной плазмы, рассмотренные в книге, свидетельствуют, что предложенный механизм плазмохимического синтеза органических соединений при сверхскоростном ударе реализуется надежно и с высокой эффективностью. Его «безотказность» заключается в том, что если скорость удара превышает критическое значение, механизм действует всегда.

Плазменный факел представляет собой кратковременный и высокоскоростной выброс горячей и плотной плазмы. Такая среда с особой динамикой разлета в природе образуется только в процессе сверхскоростного столкновения фрагментов материи, например, при падении на Землю метеоритов, если скорость удара превышает 15-20 км/с.

Факельная плазма, обладая предельно высокой каталитической активностью, обеспечивает высокие скорости протекания плазмохимических реакций с образованием новых химических соединений. При наличии в составе соударяющихся тел элементов, образующих органические соединения, происходит их высокоэффективный синтез. В процессе адиабатического разлета плазмы наблюдается быстрое остывание вещества от  $10^5$ – $10^6$  К до температуры окружающей среды. Такой разлет обеспечивает необратимость плазмохимических реакций, быстрый вынос продуктов синтеза из «горячих» областей и их вовлечение в последующие более низкотемпературные процессы, приводящие к дальнейшему усложнению конечных продуктов.

Движение плотных и высокотемпературных потоков плазмы в факеле создает наблюдаемые экспериментально неравновесные, однонаправленные электрические и магнитные поля, а также возбуждает плазменные неустойчивости, способные обеспечить генерацию циркулярно-поляризованного излучения. Такие воздействия могут привести к нарушению симметрии во время синтеза органических соединений.

Огромная энергия ударного воздействия обеспечивает формирование среды, необходимой для выживания зародившихся первичных форм живой материи. Так, падение крупного метеорита способно обеспечить нагрев пород до умеренных температур и таяние льда в значительной зоне, прилегающей к месту удара, при характерном времени остывания от нескольких сотен тысяч до десятка миллионов лет, а также насыщение этой области органическими соединениями.

В особых условиях сверхскоростного удара может осуществляться также инжекция синтезированных в факеле сложных органических соединений в глубинные, относительно теплые слои космических тел, обладающие низкой или высокой температурой на поверхности.

Следовательно, процессы, протекающие при ударе, обладая широким спектром разнообразных характеристик, способны удовлетворить требованиям многих моделей, в которых предлагаются различные сценарии возникновения простейших форм жизни.

Основные выводы и заключения предлагаемой концепции базируются на экспериментальных результатах, а механизмы основаны только на физических, химических и плазмохимических процессах.

Работы по созданию концепции и проведению модельных экспериментов преимущественно велись в Лаборатории активной диагностики Института космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН). Первые результаты по синтезу органических соединений в факеле были получены еще в 1992 году. Однако первые публикации результатов в рамках новой концепции появились только в 2001 году и принадлежат автору книги. С 2003 года работы ведутся совместно с лабораторией прикладной физики Университета Джонса Хопкинса (США) при участии В. Бринкергоффа. В этом, одном из крупнейших центров США по исследованию космического пространства автор книги с 1993 по 2007 гг. был научным консультантом. С 2008 года работы были перенесены в Годдардский центр космических полетов NASA.

Результаты работ по созданию новой концепции были опубликованы в отечественных и международных журналах, докладывались на многочисленных конференциях и симпозиумах, об-

суждались на семинарах в России, Украине, США, Франции, Греции, Болгарии, Сербии.

Очевидная возможность воплощения предложенного сценария в природе при минимальном количестве начальных условий обусловила быстрое понимание основных идей новой концепции и живой интерес независимо от уровня профессиональной подготовки аудитории.

Изложенные выше факторы сыграли определяющую роль в принятии решения о написании этой книги.

Основные идеи новой концепции не противоречат и могут сосуществовать со многими выдвинутыми ранее сценариями зарождения первичных, простейших форм живой материи. Это обусловлено тем, что удары метеоритов относятся к процессам локального воздействия, которые ограничены в пространстве. Это обстоятельство позволило минимизировать обзор литературы.

Основная цель издания книги связана с необходимостью продвижения новых идей и полученных результатов для дальнейшего расширения и углубления исследовательских работ, привлечения внимания научной общественности, и особенно молодежи, к новому подходу в решении «Вечной Проблемы».

Определяющую роль в подготовке и публикации книги следует отдать моему ближайшему другу В. А. Геловани, который с момента возникновения новой идеи и далее в процессе работы над ней своим вниманием и постоянным интересом вселял уверенность в важности предложенной концепции. Большая помощь в проведении опытов и получении результатов постоянно оказывалась В. Б. Бринкергоффом. Я искренне им благодарен.

Вера в жизнеспособность предложенной концепции крепла и утверждалась в процессе порой довольно жарких обсуждений со многими известными учеными — специалистами в разных областях знаний. Многие из них, с кем ранее я не был знаком, стали моими друзьями. Это явилось особенно ценным результатом проделанной работы. Часто их советы и замечания определяли направление дальнейших исследований. Поэтому считаю своим долгом выразить искреннюю благодарность тем, кто прямо или косвенно способствовал появлению на свет этой книги. В первую очередь моим суровым оппонентам, таким как В. А. Аветисов, А. Д. Альтштейн, Е. А. Воробьева, А. Ю. Розанов, А. А. Сысоев,



А. С. Спирин. На различных этапах работу консультировали: В. Г. Бабаев, Н. Г. Бочкарев, Е. Н. Бродский, А. В. Витязев, В. А. Даванков, Р. Х. Зиганшин, Н. А. Инагамов И. Д. Ковалев, Ю. Г. Малама, Л. М. Мухин, Е. Н. Николаев, А. А. Рухадзе, О. Г. Чхетиани.

Я благодарен Л. М. Зеленому, А. В. Захарову и В. М. Кунцевичу за предоставленную возможность рассказать о новой концепции предыстории жизни впервые на конференции за рубежом и опубликовать ее в международном журнале. Я благодарю Р. Р. Назирова за постоянную поддержку, внимание и интерес к работе, а также Н. А. Эйсмонта и С. Г. Бугрова, совместная работа с которыми способствовала созданию методики «встречного удара» и отождествления карбинов.

Мой приятный долг выразить особую благодарность Р. З. Сагдееву, который способствовал представлению новой концепции впервые в полном объеме в США. Это произошло в Мерилендском Университете на расширенном семинаре научного подразделения, осуществившем руководство и проведение первого космического эксперимента по искусственному ударному воздействию на ядро кометы Деер impact. Семинар проходил в рамках Международной конференции, посвященной 50-летию запуска первого искусственного спутника Земли. Это обеспечило интересное обсуждение концепции, в котором приняли участие присутствующие на семинаре гости конференции, многие видные ученые, в том числе и из Российской академии наук.

Неоценимой была помощь молодого ученого Н. Г. Манагадзе, моей дочери, взявшей на себя тяжелый труд подготовки рукописи, моего ученика и соавтора по многим публикациям А. Е. Чумикова и молодого специалиста Д. А. Моисеенко в части подготовки графиков, художников В. М. Давыдова и А. Н. Захарова — по подготовке некоторых рисунков. Я благодарю Л. В. Романову и Т. А. Халенкову за подготовку книги к изданию.

Спасибо всем, кто поверил в значимость этой идеи.

# ГЛАВА 1

## РАННИЕ СЦЕНАРИИ ЗАРОЖДЕНИЯ ЖИЗНИ И НОВАЯ КОНЦЕПЦИЯ

### 1.1. Введение

Наличие жизни на Земле следует считать величайшим достоянием нашей планеты. Хорошо известная микробная форма жизни в виде живой клетки, обладающей способностью самовоспроизводства и передачи этой способности последующим поколениям, представляет собой сложнейшую по своим функциональным возможностям и оптимальную по структуре систему, которую следует отнести к высшей форме организации материи. По имеющимся материальным свидетельствам (Schidlowski, 1998) полноценная клетка на Земле существовала уже 3,8–4,1 млрд лет назад. Этому способствовали умеренная температура и наличие воды на поверхности Земли через 200 млн лет после возникновения планеты (Wilde et al., 2001). За время существования на Земле жизнь в процессе своего эволюционного развития достигла цивилизации — наивысшего из известных уровней организации материи, в которой Разум сочетается с Высокими Технологиями. Однако важнейшими являются духовные ценности человеческого сообщества, которые заключаются в стремлении творить добро, быть благодарным, уметь прощать, любить ближнего и сочетаются с безудержным стремлением к познанию и самоусовершенствованию.

Проблемы возникновения жизни и ее эволюции в современной науке являются наиболее востребованными и до настоящего времени труднейшими для изучения. Интерес человечества к этим проблемам известен еще с античных времен и по истечении тысячелетий постоянно возрастает. Однако до настоящего времени факторы, которые обеспечили возникновение из неорганических веществ живой субстанции и определили путь ее дальнейшей эволюции с появлением не поддающегося оценкам

количества форм и разнообразия ее материализации, недоступны для понимания.

Разгадка причинно-следственных связей эволюционного процесса, обеспечивших возникновение живой субстанции, существенно усложняется по мере продвижения к истокам ее появления. Ей препятствует имеющаяся скудная и мало достоверная информация о начальных условиях, обеспечивших зарождение первичных форм живой материи, а также отсутствие достоверной информации о физико-химических процессах, природных механизмах и свойствах среды, способствовавших этому.

Ход эволюции живых организмов на более поздних этапах развития можно воссоздать, изучая материальные свидетельства в виде ископаемых останков. Однако изучение процессов синтеза органических соединений из неорганической материи на этапе так называемой химической эволюции с появлением условий для возникновения первых, простейших живых организмов крайне затруднено из-за исчезновения со временем таких существ, а возможно, и «каменной летописи» о них. Отсутствует и общепринятый научно обоснованный подход к рассматриваемой проблеме, так как нет ясности в понимании того, что могло представлять собой первое простейшее живое существо и можно ли время появления его отдельных представителей отождествлять со временем зарождения жизни.

Поэтому до настоящего времени достоверно не известно, когда и под действием каких механизмов в природе сформировался целый ряд ключевых, сложнейших органических соединений и добиологических структур. Эти соединения, согласно классическому подходу, обладая новыми, уникальными свойствами, должны были обеспечить успешное завершение важного этапа в процессе зарождения жизни, а именно — этапа химической эволюции — и появление первых, простейших форм живой материи.

Главной задачей в исследованиях проблемы возникновения жизни всегда было и остается: во-первых, поиск природного явления, способного обеспечить возникновение первого простейшего живого существа; во-вторых, с целью проверки его дееспособности, при воспроизведении лабораторного аналога такого механизма обеспечение абиогенного синтеза важнейших молекулярных структур, имеющих отношение к зарождению жизни.

На решение первой из этих задач за последние 60 лет были затрачены значительные усилия, однако утверждение, что требуемое природное явление было обнаружено, не отвечает действительности. Вторая задача, несмотря на множество гипотетических моделей первичных форм живой материи и возможных природных процессов ее возникновения, до настоящего времени далека от решения. Обнаружение и экспериментальное подтверждение дееспособного механизма зарождения жизни в условиях ранней Земли обеспечит корректный выбор гипотетической модели первого существа, возникновение которого ознаменовало начало этапа биологической эволюции.

При размышлении о первом живом существе на Земле следует учитывать, что согласно современным взглядам оно в природных условиях формировалось абиогенно: не в биологических, а в физических и химических процессах. Поэтому изначально результаты экспериментов по абиогенному синтезу органических соединений, моделирующих природные процессы в условиях лаборатории, всегда имели определяющее значение.

Для того чтобы в самом общем виде представить процесс возникновения первичной формы живой субстанции, необходимо прояснить некоторые сложные моменты, используя результаты, опубликованные в научной литературе. На высокую достоверность ответов на возникающие вопросы рассчитывать не приходится. Они, как правило, имеют характер гипотез.

Среди этих вопросов важнейшими следует признать следующие:

— что представляли собой первичные формы жизни и каковы были их структурные особенности, функциональные возможности и минимальные характерные размеры, и какие из этих форм можно рассматривать в качестве общего предка современного биоорганического мира?

— могли ли известные в настоящее время природные процессы обеспечить начальные условия для возникновения простейшей живой субстанции и создать условия для ее дальнейшего выживания и развития на биологическом этапе эволюции?

— насколько приблизились многочисленные лабораторные эксперименты по моделированию процесса зарождения жизни к гипотетической первичной форме живого существа?

Ответы на эти вопросы в значительной степени помогут определить, где находится современная наука на ее пути к разгадке

«вечной проблемы» и велик ли разрыв между лабораторными прототипами и гипотетическими первичными формами живой материи.

На некоторые из поставленных выше вопросов можно дать ответы, основываясь на общепринятых критериях современной науки. Так, согласно современным представлениям материю можно отнести к «живой», если она способна обеспечивать:

- воспроизводство себе подобных структур с передачей этой способности последующим поколениям;
- участие в процессе естественного дарвиновского отбора.

С незначительными ограничениями можно считать, что жизнь зародилась тогда, когда определенная выше первичная форма живой материи дала не только первое, но и множество последующих потомств и стала размножаться, используя биологические процессы и подвергаясь при этом дарвиновскому отбору.

Наиболее трудной задачей было и остается определение структурных особенностей «первичной формы живой материи». Это связано с трудностью определения момента «оживления» неживой субстанции. В самом общем виде, без рассмотрения конкретных гипотетических моделей форм жизни, сделать это, казалось бы, нетрудно.

Так, по своей структуре первичная форма живой материи могла представлять собой локализованную, но не обязательно обособленную в пространстве, молекулярную систему, состоящую из гомохиральных молекул олигонуклеотида и полипептида, взаимосвязанных с помощью примитивного генетического кода. Ее функциональные возможности могли задаваться специфичностью такого сочетания и обеспечивать воспроизведение последующих поколений ее структуры, в том числе — синтез полипептида, и передачу этих способностей последующим поколениям при участии в дальнейшем в естественном отборе дарвиновского типа.

Но при рассмотрении конкретных гипотез различие в определении «первичной формы живой материи» может быть значительным. Поэтому для корректного определения этого понятия необходимо воспользоваться формулировками авторов этих гипотез.

В данной книге автор по возможности придерживался этого принципа, особенно при рассмотрении характеристик первичных форм живой материи.

В качестве основных моделей первых организмов в разделах 1.3 и 1.4 этой главы рассмотрены «однополимерные живые системы» древнего мира РНК (Спирин, 2007) и протовирион — согласно определению автора гипотезы, первое живое существо на Земле, прародитель биосферы (Альтштейн, 1987).

За последние годы проблеме возникновения жизни было посвящено несметное количество теоретических и экспериментальных работ. В них предложены новые идеи, рассмотрены различные природные механизмы, представлены результаты часто хорошо продуманных и выполненных лабораторных экспериментов, которые возможно и имеют прямое отношение к обсуждаемой проблеме. Научная ценность этих публикаций значительна. С целью «проникновения» в современное состояние проблемы можно обратиться к относительно новым обзорным работам и оригинальным публикациям (De Duve, 1995; Fortey, 1998; Margulis, Sagan, 1997; Schopf, 2000; Джонс, 2007; Галимов, 2001). Представляют интерес и более ранние работы (Orgel, 1973; Поннамперума, 1977; Дикерсон, 1981; Фолсом, 1982; Голдсмит, Оуэн, 1983; Хоровиц, 1988), так как многие проблемы, затронутые в них, не потеряли актуальности и сегодня. Сравнительно небольшой объем нашего обзора обусловлен тем, что эта книга не нацелена на всесторонний анализ ранних и современных работ. Она посвящена конкретному явлению природы, и поэтому в обзорной части книги рассматриваются только те работы, которые могут представлять интерес применительно к новой концепции.

Возвращаясь назад, к тем трудным вопросам, которые были поставлены выше, отметим, что на некоторые из них удалось найти, по крайней мере, предварительные ответы. Однако нам еще предстоит найти ответы на самые трудные из этих вопросов, в частности, насколько сложна молекулярная структура первичной формы живой материи и могла ли она возникнуть в известных природных процессах? Для этого необходимо ознакомиться с предложенными ранее гипотезами о первых организмах и возможных механизмах их синтеза.

## **1.2. Известные механизмы синтеза органических соединений в природе**

Хорошо известно, что новые концепции последнего столетия, связанные с проблемой происхождения жизни, были предложены А. Опариным (1924) и Д. Холдейном (см.: Бернал, 1969). Они опирались на идею самозарождения, в которой определяющая роль отдавалась химической эволюции. Основополагающая концепция А. Опарина была опубликована в книге «Происхождение жизни» (1924 г.) и заключалась в объяснении зарождения жизни «от разрозненных элементов к органическим соединениям» и «от органического вещества к живому существу».

Пять лет спустя после публикации А. Опарина, Д. Холдейн в статье «Возникновение жизни», рассмотрев независимо от А. Опарина важные аспекты этой проблемы, указал на передачу наследственной информации как важную особенность живой материи и предложил идею синтеза органических соединений под воздействием солнечного ультрафиолета на атмосферу.

Публикации А. Опарина и Д. Холдейна, позже сыгравшие определяющую роль в изучении проблемы возникновения жизни, в те времена из-за малой известности этих публикаций не оказали существенного влияния на развитие работ в этом направлении. Тем не менее работы по абиогенному синтезу органических соединений и попытки воссоздания живой клетки велись постоянно.

Например, в эти годы А. Опарин предложил популярную и общепринятую позже белково-коацерватную теорию возникновения жизни. Ее основная идея базировалась на возможности спонтанного химического синтеза абиогенным путем мономеров белков — аминокислот, и их полимеров — полипептидов, которым отводилась определяющая роль в процессе возникновения жизни.

Обладая каталитической активностью, некоторые белковоподобные соединения коацерватов могли «симулировать» ассимиляцию, рост и размножение, характерные для живой клетки. Грамотно поставленные и выполненные лабораторные опыты, казалось, подтверждали предложенную теорию. Но в этой гипотезе отсутствовал механизм точного воспроизводства случайно возникших эффективных белковоподобных структур. И тем не

менее, работы А. Опарина во многом определили правильный выбор дальнейших путей в изучении проблемы возникновения жизни.

Сегодня в качестве наиболее актуальной задачи следует рассматривать поиски новых высокоэффективных природных факторов, способных обеспечить возможность абиогенного синтеза полимерных органических соединений при воздействии этих факторов на типичные среды ранней Земли. Пока эта задача не нашла решения.

В настоящее время не вызывает сомнений возможность абиогенного синтеза несложных органических соединений. Это, в первую очередь, относится к промежуточным реакционно-способным соединениям, азотистым основаниям, сахарам, липидам, аминокислотам, нуклеотидам. Такие органические соединения, имеющие самое прямое отношение к процессу подготовки зарождения жизни, были синтезированы в опытах по воздействию на неорганическую субстанцию различных лабораторных аналогов природных факторов.

Основная проблема абиогенного синтеза заключалась в отсутствии достоверных и высокоэффективных природных процессов, способных обеспечить объединение имеющихся мономеров в полимерные цепочки, без наличия которых было невозможно представить реализацию и развитие этапа химической эволюции. Для преодоления этих сложностей были предложены механизмы «концентрирования» мономеров в процессе синтеза полимерных органических соединений на поверхности различных минералов, например, глин (Бернал, 1969) или кварца.

Важным требованием к механизмам синтеза как простых, так и полимерных органических соединений следует считать возможность реализации подобного процесса в условиях, максимально приближенных к природным. Это обусловлено тем, что сегодня во многих лабораториях синтезируются органические полимеры без участия ферментов, например, полипептидов. При этом условия этих опытов с применением чистых мономеров высокой концентрации, безводных растворителей, с использованием методик, позволяющих проводить защиту реакционных групп, с применением реагентов, обеспечивающих энергию, а также других аналогичных дополнительных усилий и ухищрений гарантируют успех (Хоровиц, 1988). Но начальные условия этих опытов так



же, как и характеристики исходных веществ и условия синтеза, очень далеки от реальных условий на Земле, поэтому они не могут рассматриваться как эксперименты, способные моделировать природные процессы.

Подобным образом обстоят дела и с защитой от поступенчатого или мгновенного разрушения синтезированных органических соединений при наличии соответственно солнечной или космической радиации (Шкловский, 1965). В первом случае без привлечения сложных и малоэффективных механизмов, трудно реализуемых в природных условиях и связанных с вертикальной циркуляцией органических соединений вместе с водой в водоемах, не удавалось защитить их от разрушения. Таким образом, можно считать, что при возникновении трудностей реализации в условиях природы тех или иных гипотетических механизмов, связанных с этапом химической эволюции, обычно привлекались теоретические схемы, которые имели слабую связь с поставленной задачей.

По поводу преодоления проблемы «концентрационного разрыва» К. Фолсом писал: «теоретически можно найти способы обойти проблему «концентрационного разрыва», но они справедливо представляются скорее пожеланиями, нежели правдоподобной реальностью» (Фолсом, 1982).

В связи с этим широко известные эксперименты С. Миллера и Г. Юри (Miller, Urey, 1965), моделирующие абиогенный синтез органических соединений в лабораторных условиях, были убедительны, хорошо подготовлены и выполнены. В них лабораторные аналоги природных феноменов, в частности — высоковольтные разряды и ультрафиолетовое излучение, в значительной степени отвечали воздействиям на раннюю атмосферу Земли электрических пробоев в грозовых облаках и солнечной радиации.

Трудности и противоречия в этих экспериментах были связаны с составом первичной атмосферы Земли, имевшей по мнению авторов восстановительный характер. В те времена такого мнения придерживались многие ученые, поскольку окислительная атмосфера, как казалось, исключает эффективный синтез аминокислот. Предложенная модель бескислородной атмосферы содержала смесь водорода, метана, аммиака и паров воды. Концентрации основных компонентов находились в довольно узких интервалах, и при незначительном нарушении этих соотношений

синтез органических соединений в модельных экспериментах прекращался.

Предложенная модель состава атмосферы изначально подвергалась критике, так как ее реальный состав не был достоверно известен (Мороз, Мухин, 1977; Галимов, 2001). Он и до настоящего времени остается спорным. Некоторые ученые начали склоняться к тому, что атмосфера могла носить окислительный характер и при этом быть непригодной для синтеза аминокислот (Мухин, 1980).

В ранних моделях в процессе синтеза органических соединений в атмосфере молодой Земли расчетная объемная плотность образовавшихся мономеров получалась низкой. Это не позволяло им в дальнейшем объединяться в полимерные структуры, что и было названо «концентрационным разрывом». К тому же, в аминокислотах, синтезируемых в лаборатории при воспроизведении условий ранней Земли, не было обнаружено какого-либо нарушения симметрии изомеров.

Сегодня, спустя примерно полвека после первых экспериментов Г. Юри и С. Миллера, их результаты воспринимаются несколько иначе. Теперь их нередко относят к экспериментам, организованным таким образом, чтобы с наибольшей вероятностью получить нужный результат путем соответствующего подбора начальных условий. К тому же, они подвергаются необоснованной критике на том основании, что, вопреки обещаниям, в этих экспериментах не удалось воспроизвести жизнь даже в самой элементарной форме.

Однако объективный анализ результатов этих опытов свидетельствует о другом. Благодаря ясности предложенной концепции и доступности ее понимания, опыты Г. Юри и С. Миллера вызвали живой интерес ученых к проблеме возникновения жизни. Этому, безусловно, способствовал научный авторитет и широкая известность Г. Юри, однако наиболее важным следствием было то, что интерес к этим экспериментам определил направление дальнейшей деятельности не для одного поколения ученых. Эти работы еще раз и более наглядно показали, что плазма, возникающая в процессе высоковольтного пробоя, способна без каких-либо дополнительных усилий обеспечить синтез ряда ключевых аминокислот.

В настоящее время становится ясно, что пробой в газовой среде, которая в условиях лаборатории моделировала состав атмосферы, представлял собой сильно уменьшенную модель грозового разряда, и при тех характерных размерах трудно было ожидать синтеза более сложных органических соединений. Ограничение массы синтезированных в этих условиях соединений могло быть обусловлено также и размерностью пробоя, являющегося одномерным. С увеличением размера пробойного промежутка в десятки или в сотни раз могло быть достигнуто существенное увеличение массы и значительное усложнение синтезированных соединений. Но это не было сделано тогда, предположительно, по техническим причинам, и осталось важной задачей до нашего времени.

Для последующих работ по исследованию абиогенного синтеза органических соединений характерен широкий охват всевозможных лабораторных аналогов природных воздействий на различные среды. В экспериментах этого класса наблюдается отступление от солнечной радиации как оптимального средства воздействия на атмосферу и замена ее другими, более эффективными, воздействиями.

Так, в работе (Matsu, Abe, 1986) были исследованы возможные последствия сверхскоростных ударов метеоритов для ударной дегазации планетезималей и генерации высокотемпературной атмосферы. Согласно этой гипотезе, такая ударно-наведенная атмосфера могла содержать CO и CO<sub>2</sub>-соединения, необходимые для синтеза аминокислот.

В экспериментах (Miyakawa et al., 1997, 1999) на газовую смесь CO–N<sub>2</sub>–H<sub>2</sub>O, находящуюся в магнитном поле, воздействовали дуговым разрядом. В результате воздействия плазменной дуги в гидролизате конечного продукта были обнаружены аминокислоты вместе с урацилом и цитозином.

Были также проведены эксперименты (Bar-Nun et al., 1970), моделирующие воздействие ударных волн, возникающих при вхождении метеоритов в первичную разреженную атмосферу Земли. В ходе этих экспериментов в газовой смеси, состоящей из CH<sub>4</sub>, CH<sub>6</sub>, NH<sub>3</sub> и H<sub>3</sub>O, в условиях лаборатории под воздействием ударных волн было синтезировано несколько аминокислот.

Результаты этих работ существенно не отличались от результатов, полученных в экспериментах Г. Юри и С. Миллера.

Однако они обусловили переход исследователей к более решительным действиям, которые заключались в замене среды, подвергающейся воздействию. Так, вместо модели ранней атмосферы, обладающей низкой плотностью, осуществлялось воздействие на вещество, находящееся в твердой фазе, — на минералы, а вместо солнечной радиации в качестве источника воздействия применялся термический нагрев, обеспечивающий плавление и испарение проб.

Синтез компонентов нуклеиновых кислот, в частности — аденина, был осуществлен в (Ого, 1961) при нагревании смеси цианистого водорода, аммиака и воды. В (Роппапрегута, 1963) аденин был получен воздействием электронного пучка на смесь  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , а под действием ультрафиолета на раствор цианистого водорода был синтезирован гуанин. Позже был осуществлен синтез нуклеозидов и нуклеотидов.

Большой интерес вызвали результаты работ, в которых в качестве источника энергии рассматривалось вулканическое тепло, выделяющееся при извержении, и термический нагрев геологических пород вблизи кратера от метеоритного удара.

Ученых, занимающихся абиогенным синтезом органических соединений, к мысли о вулканах привела простая идея: возможно, эти соединения могут возникать в условиях высокотемпературной вулканической лавы, состоящей из неорганических веществ. Такой подход оправдан следующим соображением: несмотря на то, что вклад тепловой энергии вулканов был на несколько порядков величины ниже общего теплового воздействия солнечной радиации на Землю, вулканическое тепло из-за его высокой концентрации могло действовать более эффективно.

Проведенные С. Фоксом (Fox, Dose, 1977) эксперименты по воздействию вулканического тепла на метаново-аммиачную атмосферу показали, что в этих реакциях может образоваться широкий набор природных аминокислот. Однако реакционная газовая смесь, которую Фокс использовал в своих лабораторных установках, никак не соответствовала составу первичной атмосферы. В его экспериментах вулканы были только источником тепловой энергии для синтеза аминокислот. Но они могли бы служить также источником газа и расплавленных минералов. Более того, в вулканических газах содержались все необходимые для синтеза органических соединений компоненты, в част-

ности — метан, аммиак, водород, окись углерода. Могли ли вулканические выбросы газов и лавы, в том числе подводные, способствовать синтезу и накоплению органических соединений, необходимых для зарождения жизни?

Были проведены исследования, моделирующие наземные и подводные вулканы в условиях лаборатории, а также измерения непосредственно в жерле вулканов (Mukhin, 1974). По совокупности полученных результатов авторы пришли к заключению, что в вулканических извержениях могут образовываться и синильная кислота, и альдегиды, и аминокислоты, из которых можно получить необходимые макромолекулы.

Возможность образования органических соединений при ударном нагреве и испарении горных пород за счет тепла, выделившегося при падении метеоритов, впервые была показана в работах (Mukhin et al., 1989; Герасимов и др., 1991). По мнению этих авторов разогрев вещества до температуры 3000–4000 К должен был обеспечить образование плотного облака в парогазовой фазе. При лабораторном моделировании этого процесса для высокотемпературного нагрева и испарения образцов использовался ниодимовый лазер, излучающий на длине волны 1,06 мкм импульс длительностью  $\sim 1$  мс (Герасимов и др., 1991). Такая длительность лазерного импульса с запасом  $\sim 10^5$  обеспечивала образование облака пара с надежным установлением термодинамического равновесия в процессе испарения.

При низких скоростях удара, согласно (Герасимов и др., 1991), только до 30 % вещества сталкивающихся тел переходит в газовую фазу, образуя смесь окислительных и восстановительных компонентов и углеводородов с 0,1 % примесью цианистого водорода и ацетальдегида. В рассмотренных выше экспериментах, связанных с термическим нагревом, при наличии большого разнообразия реакционноспособных органических соединений в сочетании с высокой температурой можно ожидать синтеза тех соединений, о которых сообщают авторы работ.

Новый сценарий зарождения жизни был инициирован открытием анаэробных микроорганизмов в глубинах океана. Вблизи подводных вулканов, так называемых «черных курильщиков», были обнаружены колонии микроорганизмов, для метаболизма которых не требуется солнечный свет. В отличие от

ранних сценариев, основанных на классических экспериментах С. Миллера, использующих внешний источник энергии, Г. Вехтершаузер (Wächtershäuser, 1992) предположил, что источником энергии для создания примитивных организмов могли послужить восстановительные реакции с участием сульфидов металлов, прежде всего — железа и никеля. Оказалось, что при наличии приемлемой концентрации элементов, входящих в органические соединения, этой энергии достаточно не только для синтеза простых молекул, но и для образования олигомеров и полимеров. Была высказана гипотеза, что в «системе Вехтершаузера» в автокаталитическом режиме могут образовываться метаболически активные структуры, способные к саморепликации. Однако проведенные эксперименты показали крайне низкую эффективность синтеза димеров и тримеров аминокислот в анаэробных условиях. Эти результаты не позволяют пока сделать однозначный вывод о жизнеспособности основной идеи зарождения жизни под водой и об ее перспективности на базе вышеуказанных механизмов. Но и исключить такую возможность также нельзя.

Среди относительно новых сценариев зарождения жизни в последние годы привлекает внимание «метаболический» сценарий Р. Шапиро (Shapiro, 1984, 1995). Он предполагает, что появление в природе крупной реплицирующейся молекулы РНК маловероятно, поэтому определяющую роль в зарождении жизни могли играть реакции между малыми молекулами. Согласно этой модели вначале был метаболизм, и все началось со спонтанного образования отсеков. В некоторых из них содержались группы молекул, которые вступали в химические реакции и образовывали циклы, последние со временем все более усложнялись и обеспечивали появление полимерных молекул — хранилищ информации. Несмотря на относительную популярность этой концепции, получение экспериментальных доказательств ее реализуемости идет довольно медленно. Ее основная идея схожа с идеей Г. Вехтершаузера (Wächtershäuser, 1992). В обоих случаях экспериментальных работ по проверке этих концепций мало, да и те ограничиваются демонстрацией реализуемости какой-то одной части замкнутого цикла. Эти опыты пока имеют фрагментарный характер, очень далекий от завершения, несмотря на то, что основная идея концепции «мира малых молекул» — альтер-

нативная миру РНК — выглядит вполне реалистичной. Впрочем, как показывают результаты лабораторного моделирования, обе концепции находятся практически на пределе своих возможностей и не обладают необходимым «запасом прочности», при подключении которого можно было бы обеспечить существенное усложнение синтезированных молекул.

В опытах по абиогенному синтезу полимерных органических соединений, осуществленных С. Фоксом (Fox, Dose, 1977; Fox, Nakashima, 1980), в качестве исходного материала, вместо неорганических соединений, были использованы чистые и сухие аминокислоты. Их нагревание в различных условиях в диапазоне температур от 100 до 170 °С привело к образованию полимерного вещества, названного протеиноидом и обладающего молекулярной массой от 1000 до 30000 а.е.м. Значимость результатов такого ограниченного или промежуточного синтеза заключается в том, что полученные органические соединения обладают экспериментально обнаруживаемой ферментативной активностью.

Согласно современным представлениям наиболее важными являются процессы, обеспечивающие синтез олигонуклеотидов. Имеются данные о синтезе полимерных цепочек олигорибонуклеотидов, включающих до 40 мономеров. (Ferris, Ertem, 1993; Ferris et al, 1996, 2004; Huang, Ferris, 2003). В этих опытах синтез осуществлялся в водной среде с применением поверхностных минеральных катализаторов типа глин (монтмориллонита) из нуклеозид-фосфорамидатов с образованием нормальных 3'-5' межнуклеотидных связей.

Возможность синтеза органических соединений в протопланетном облаке нашла теоретическое подтверждение в работах В. Пармона (Пармон, 2002; Parmon, 2007) и его коллег. В них с помощью расчетов и компьютерного моделирования было показано, что в газовой-пылевой протопланетных облаках имеются необходимые условия, элементы, образующие органику, а также простые химические соединения, способные обеспечить синтез разнообразных органических соединений. Непременным условием синтеза было названо присутствие в этой среде частиц-катализаторов, содержащих железо, никель и кремний.

Такой подход позволил создать так называемую «каталитическую» гипотезу, согласно которой синтез первичных органических соединений и образование планет — две стороны одной

медали. Поэтому проблема возникновения жизни и проблема образования планет сходятся для Земли в один временной интервал.

По части астрокатализа представляет интерес и гипотеза В. Снытникова (Снытников, 2007; Snytnikov, 2007), согласно которой синтез органических соединений мог происходить как в допланетном околозвездном диске, так и в процессе формирования Земли и реализоваться через развитие коллективной неустойчивости, т. е. при одновременном объединении очень многих малых тел.

Эти органические соединения могли попадать на поверхность Земли, не разрушаясь при нагревании в процессе прохождения атмосферы, если они находились внутри более крупных, чем пылевые частицы, образований или в случае падения метеорита в глубокие водоемы (Шувалов и др., 2005).

Подтверждение возможности образования в околозвездном диске сложных полимерных органических соединений, после определения основного механизма синтеза, требует серьезного экспериментального подтверждения, которое следует отнести к классу труднореализуемых экспериментов. Это важно еще и потому, что допланетная околозвездная среда, как и плазменные среды, представляет собой субстанцию малоизученную, она может обладать еще многими неизвестными и непредсказуемыми свойствами. Поэтому такие среды, обладающие еще не раскрытыми возможностями, заслуживают самого детального изучения.

В работе (Островский, Кадышев, 2007) предлагается гидратная гипотеза возникновения простейших элементов живой материи. Согласно этой гипотезе так называемые элементы живой материи многократно образовывались и, возможно, образуются в настоящее время из метана, селитры и фосфора в пограничных слоях твердых фаз газовых гидратов простейших углеводородов. Работа имеет чисто теоретический характер, однако в процессе обсуждения рассматривается возможность проверки гипотезы опытным путем с проведением довольно сложного для реализации эксперимента. Не до конца понятен и механизм возникновения гомохиральных макромолекул и не ясен фактор, который определил «знак» полярности биоорганического мира.

Из вышеизложенного следует, что в природных процессах, происходивших на ранней Земле и воспроизводимых в условиях



лаборатории, наблюдался абиогенный синтез газов, реакционно способных промежуточных продуктов, малых органических соединений, в частности — аминокислот, жирных кислот, углеводов, азотистых оснований и коротких полимерных цепочек некоторых мономеров. Так, высокоэффективный синтез мономеров аминокислот происходил во время пробоя в газе, а их полимеризация осуществлялась в процессах дальнейшего нагрева мономеров. Полученные таким образом органические соединения, названные С. Фоксом протеиноидами, хотя значительно отличались от белка, но уже имели некоторую ферментативную активность. Подобные результаты обнадеживают.

В заключение данного раздела кратко рассмотрим особенности результатов плазменных экспериментов, в которых был осуществлен синтез органических соединений.

Отметим, что плазменные образования, благодаря их высокой каталитической активности, оказались одной из наиболее эффективных сред для синтеза широкого класса органических соединений. Это неоднократно было доказано экспериментально, начиная с 1906 года, когда В. Лёб (Löb, 1906) впервые в тлеющем разряде синтезировал альдегиды и глицин.

В дальнейшем возможность синтеза органических соединений в плазменных образованиях нашла надежное подтверждение. Наиболее достоверные результаты были получены в широко известных модельных экспериментах С. Миллера (Miller, 1953). В них, как отмечалось ранее, в лабораторных аналогах молний, представляющих собой разновидность природного плазменного пробоя, удалось синтезировать до 5 аминокислот.

Недавно по инициативе Дж. Бада (Bada, 2003) был проведен повторный анализ вещества, синтезированного С. Миллером в 1953 году, с использованием современных аналитических приборов. Результаты измерений показали, что аминокислот было существенно больше, не менее 22, и дополнительно к ним были обнаружены и амиды (Johnson, 2008).

К. Симионеску и Ф. Денеш (Симионеску, Денеш, 1986) предприняли попытку синтеза органических соединений в экспериментах, воспроизводящих в лаборатории условия, возникающие в холодной ионосферной плазме. И в этом случае удалось синтезировать и отождествить ряд ключевых органических соединений, имеющих отношение к возникновению жизни. В частности,

наряду с аминокислотами, им удалось идентифицировать основания нуклеиновых кислот, порфирины, полисахариды и липиды.

В этом аспекте представляют интерес рассмотренные выше результаты работ (Miyakawa et al., 1997, 1999), в которых были синтезированы аминокислоты вместе с урацилом и цитозином при воздействии дугового разряда на газовую смесь, состоящую из CO, N<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O.

Результаты этих и других подобных работ свидетельствуют о том, что в стационарных и импульсных природных плазменных процессах можно ожидать, по крайней мере, синтеза мономеров органических соединений, необходимых для возникновения более сложных, полимерных молекулярных структур.

Преимущественный синтез мономеров в рассмотренных выше экспериментах предположительно был связан с тем, что плазменные образования создавались в среде, находившейся в газовой фазе. Поэтому концентрация синтезированных мономеров была недостаточной для последующего формирования из них протяженных полимерных цепочек в непрерывных процессах разряженной плазменной среды.

Однако важность полученных результатов не подлежит сомнению, так как они показали принципиальную возможность синтеза полимерных органических соединений при увеличении плотности исходного вещества, которое, в свою очередь, могло обеспечить высокую концентрацию мономеров в плазменных образованиях, возникающих при естественном или искусственном воздействии. Но основная проблема состоит в том, что все синтезированные органические соединения были очень далеки от тех, из которых могли бы быть интегрированы сложные полимерные макромолекулы. А предлагавшиеся ранее механизмы не были способны обеспечить необходимую высокую плотность их локализации.

### **1.3. Живые системы из древнего мира РНК**

В научной литературе время от времени появляется описание гипотетической модели простейшего живого организма. Так, в опубликованной в 1979 году книге К. Фолсома «Происхождение жизни» (Фолсом, 1982) предпринята попытка описать

модель живой материи «протоклетки» в ее простейшем варианте. Согласно гипотезе К. Фолсома первичные белки такого существа могли содержать 5–7 аминокислот, а первичные полинуклеотиды — 10–12 оснований. Был рассмотрен и возможный процесс перехода неорганической субстанции к жизни. Такое гипотетическое существо можно было расположить внутри сферы диаметром около 5 нм без учета толщины стенок. А его молекулярная масса не должна была превышать 6 кДа. Возможно, идея описать простейшую форму живой материи была связана с растущим в те годы интересом к идеям мира РНК.

Основная идея гипотезы мира РНК заключается в том, что по совокупности важнейших свойств и характеристик молекула РНК наилучшим образом подходит на роль того соединения, которое могло обеспечить возникновение живой материи. Накопившиеся знания о свойствах нуклеиновых кислот привели именно к такой принципиально новой идее известных ученых, стоявших у истоков молекулярной биологии, — Ф. Крика, К. Вуза, Л. Оргела и У. Гильберта (Crick, 1968; Woese, 1967; Orgel, 1968; Gilbert, 1986).

Открытие (Kruger et al., 1982; Guerrier-Takada et al., 1983) каталитических свойств РНК в биологических системах и ряд других работ обеспечили идее мира РНК мощный импульс к развитию. Концепция мира РНК стала восприниматься как идея самодостаточного мира — предшественника жизни (Gilbert, 1986; Joyce, Orgel, 1993). Со временем, благодаря результатам работ (Cech, Bass, 1986; Woese, 1998; Orgel, 1998), концепция мира РНК стала обладать целым рядом исключительных достоинств и, разрешив многие противоречия, оказалась доминирующей среди гипотез о зарождении жизни.

Важный вклад в изучение мира РНК внесли работы А. Спирина (Спирин, 2001, 2003, 2005), в которых с позиции идеи самодостаточности мира РНК предлагалась оригинальная версия процесса эволюции РНК, ведущая к возникновению механизма биосинтеза белка. В этих работах было показано, что РНК способна выполнить все или почти все функции, необходимые для возникновения и существования живой материи. Было также показано, что абиогенный синтез рибонуклеотидов и их ковалентное объединение в олигомеры и полимеры типа РНК могли происходить в тех же условиях и в той же химической обстановке, какие постулировались

для образования аминокислот и полипептидов. Основные идеи были подтверждены результатами экспериментов (Chetverina et al., 1999), в которых была показана возможность спонтанной рекомбинации, по крайней мере, некоторых полирибонуклеотидов (РНК) в обычной водной среде. Это могло привести к удлинению полирибонуклеотидов и возможному возникновению каталитической активности этих молекул.

В работе А. Спирина (Спирин, 2007) рассматривалась гипотеза о древнем мире РНК как первичной форме жизни, предшествующей современному миру РНК, базирующемуся на трех полимерах: ДНК, РНК и белках (Woese, 1967; Crick, 1968; Orgel, 1986, Gilbert, 1986). Эволюция древнего мира РНК могла привести к возникновению механизма биосинтеза белка, специализированного генетического аппарата на основе ДНК и, в конце концов, к клеточной организации живой материи (см.: Joyce, 2002; Orgel, 2004; Joyce, Orgel, 1999, 2006; Спирин, 2001, 2003).

Ансамбли молекул древнего мира РНК могли быть самодостаточным образованием, обеспечивающим его существование, рост и размножение, т.е. аналогом живых систем, но состоящим всего из одного типа полимеров. Подобные образования можно было бы считать простейшей формой жизни древнего мира РНК, однако требовалось определение его характерных размеров, структуры и функциональных возможностей.

В работе (Спирин, 2007) также были рассмотрены начальные условия среды, необходимые для существования, амплификации и эволюции древнего мира РНК, трудности абиогенного синтеза однополимерной формы жизни и парадоксальные ситуации, возникающие в отношении ее стабильности, ее функционирования, а также места мира РНК в геологической истории Земли.

В этой работе обсуждался:

— водный парадокс, заключающийся в несовместимости химической нестабильности ковалентной структуры РНК в водной среде и необходимости воды для формирования ее функционально-активных конформаций;

— конформационный парадокс, заключающийся в несовместимости стабильной двуспиральной структуры РНК, требуемой для ее репликации, и стабильных компактных конформаций одноцепочных РНК, необходимых для каталитических функций;

— геологический парадокс, заключающийся в чересчур малом промежутке времени или его отсутствии в геологической истории Земли между окончанием тяжелой метеоритной бомбардировки и появлением первых свидетельств жизни в обнаруженных земных породах.

Были и другие трудности. «Заключение, которое можно сделать из всех имеющихся данных, не утешительно: несмотря на все ухищрения при моделировании различных условий первобытной Земли, к настоящему времени не удается воспроизвести полный абиогенный синтез ни одного из нуклеотидов, являющихся компонентами (мономерами) РНК», — пишет А. Спирина (Спирин, 2007), ссылаясь на работы (Orgel, 2004; Joyce, Orgel, 2006).

Совершенно нерешенной, по мнению А. Спирина, оставалась проблема хиральности — продукты абиогенного синтеза нуклеотидов неизменно представляли собой рацемические смеси, тогда как для образования настоящих РНК требовалась их гомохиральность.

Не лучшим образом обстоят дела с неэнзиматической полимеризацией нуклеотидов. Отдельные успехи, достигнутые в этом направлении (Ferris, Ertem, 1993; Ferris et al., 1996; Huang, 2004; Ferris, 2003), когда для синтеза олигорибонуклеотидов, состоящих из 40 мономеров, использовались фосфорамидатные субстраты, оказались иллюзорными, так как существование последних на ранней Земле представлялось маловероятным.

Вышеуказанные и другие неразрешимые трудности, возникшие во время попыток преодолеть сложности абиогенного синтеза РНК, привели многих исследователей, включая Л. Оргела, к новой идее. Она заключалась в том, что РНК сама не возникла абиогенным путем, а была «изобретена» более простой системой, предшествующей миру РНК, и этот ранний мир мог существовать при более экстремальных условиях (Orgel, 2004; Joyce, Orgel, 2006).

В качестве возможных предшественников РНК были предложены их искусственные аналоги — пептидные нуклеиновые кислоты (ПНК), которые вместо сахарофосфатного остова имеют полипептидный остов (Egholm et al., 1992, 1993). Однако ни одна из этих структур не оказалась по своему строению проще РНК, а замена одной генетической структуры на другую также представляется маловероятной.

Среди некоторых дополнительных условий для существования и эволюции мира РНК рассматривается также необходимость наличия РНК-адсорбирующих поверхностей с циклами подсушивания или нагревания-охлаждения и, наконец, обязательное наличие каких-то механизмов, обеспечивающих защиту РНК от космического излучения, или способов ее временной консервации.

Наличие этих «парадоксальных» противоречий позволило А. Спирину сделать вывод о малой вероятности возникновения, существования и эволюции мира РНК в клеточные формы жизни на Земле и вынудило его обратиться к идее космического происхождения земной жизни.

Один из вариантов такой модели — зарождение жизни в кометных ядрах (Hoover, Rozanov, 2002; Hoover, 2006).

По мнению А. Спирина, такой перенос мира РНК с Земли в космос связан со многими трудностями иного рода. Так как условия в различных местах Вселенной практически не известны, придется принять первые клеточные формы жизни, возникшие из мира РНК, как «творения неких неведомых нам условий и сил — творение, данное нам на Землю и на другие планеты и тела Солнечной системы уже в готовом виде».

Из сказанного выше следует, что первые простейшие формы жизни древнего мира РНК — однополимерные структуры — по характерным размерам были меньше, а по функциональным возможностям существенно проще по сравнению с рибозитами (Yarus, 2002) — первыми клеточными формами жизни современного мира РНК. Согласно А. Спирину (Спирин, 2005) рибозиты могли состоять из одной примитивной рибосомы, с сотней мРНК и белков, и обладать общей молекулярной массой порядка 50 млн а.е.м.

А простейшая форма живой материи из древнего мира РНК представляла собой однополимерную структуру, состоящую только из молекул РНК. Ее основная молекула содержала нуклеотиды, в среднем до 200 единиц, с общей массой, равной 70 000 а.е.м. Ансамбль таких молекул РНК мог быть самостоятельным образованием, обеспечивающим его существование, рост и размножение, и представлять собой аналог живой системы, а время их появления с некоторыми ограничениями можно было отождествить с моментом возникновения жизни. С некоторыми ограничениями такие образования можно было

рассматривать как первичные формы живой материи древнего мира РНК.

Важно отметить, что эти образования не могли возникнуть и существовать, если условия на ранней Земле были такими, при которых могли быть реализованы рассмотренные выше различные парадоксы. Однако в других условиях, например, при отсутствии «водного парадокса», по крайней мере, зарождение первичных форм жизни древнего мира РНК нельзя исключать полностью.

#### **1.4. Протовириод — прародитель биосферы**

В работе А. Альтштейна (Альтштейн, 1987), которую А. Спирин характеризует как «детально продуманную и привлекательную» (Спирин, 2001), предложена модель первого живого существа на Земле, прародителя биосферы. По этой гипотезе, первая живая система состояла из двух молекул — полинуклеотида и кодируемого им белка (процессивной полимеразы). Система размножалась благодаря единому процессу репликативной трансляции на основе матричного принципа, подобного современному, и эволюционировала по дарвиновскому принципу «наследственность — изменчивость — естественный отбор».

Чтобы объяснить появление такой достаточно сложной системы, в гипотезе постулируется принцип «прогенов» — смешанных ангидридов неслучайной аминокислоты и тринуклеотида по 3'-гамма-фосфату. Предполагается, что имелась достаточная локальная концентрация (например, в липосомоподобных структурах) активированных нуклеотидов, аминокислот и аминокислотных нуклеотидов — смешанных ангидридов нуклеотида и аминокислоты по 3'-гамма-фосфату. Согласно основному постулату гипотезы проген образуется путем соединения динуклеотида (ДН) и аминокислотного нуклеотида (ААН), причем аминокислота последнего специфически взаимодействует с ДН, помогая образованию нестабильного «триплета» (без ковалентной связи между ДН и ААН). Два таких «триплета» комплементарно перекрываются. Такое взаимодействие увеличивает стабильность комплекса и облегчает образование фосфодиэфирной связи между 2-м и 3-м нуклеотидами. В результате образуется проген — тринуклеотид с неслучайной аминокислотой на гамма-фосфате 3-го нуклеотида

и набором нуклеотидов, способных к комплементарному взаимодействию.

Химическая структура прогенов такова, что они могут служить субстратом для одновременного синтеза полипептида и полинуклеотида. Первая генетическая система (один ген — один полипептид, процессивная полимераза, прогенлигаза) образуется из прогенов как очень редкое событие. При объединении прогенов (с обязательным использованием матричного принципа) одновременно образуется олигонуклеотид и олигопептид, причем последний помогает росту системы. Если структура системы после присоединения очередного прогена благоприятна для присоединения следующего прогена, рост системы продолжается, в противном случае он останавливается, что приводит к распаду системы.

Таким образом, фермент (процессивная полимераза, использующая прогены, — прогенлигаза) возникает в тесной связи со своим субстратом. Рост достаточно длинной молекулы нуклеиновой кислоты обеспечивается ферментом, растущим на 3'-конце цепи и кодируемым удлиняющейся нуклеотидной последовательностью. Далее возникшая генетическая система будет реплицироваться на основе прогенов, которые являются адаптерами белкового синтеза, подобными транспортной РНК, и одновременно субстратом для синтеза комплементарной нуклеотидной цепи и полипептида, закодированного в матрице.

Эта гипотеза предлагает единое решение ряда проблем, которые ранее не были решены. В частности, механизм образования и соединения прогенов позволяет понять:

— природный отбор мономеров и возникновение гомохиральной нуклеотидной и почти гомохиральной аминокислотной последовательностей; необходимость активации нуклеотида по 3'-концу приводит к выводу о преимущественно дезоксирибонуклеотидной природе нуклеотидов, входящих в состав первой генетической системы;

— возникновение физико-химического группового генетического кода; получены стереохимические доказательства определенного соответствия между кодом, полученным на основании гипотезы прогенов, и современным генетическим кодом (Альтштейн, Ефимов, 1988);



— возникновение связи «генотип — фенотип» в процессе образования генетической системы;

— описание природы первой самовоспроизводящейся генетической системы и первого единого молекулярно-генетического процесса (репликации — транскрипции — трансляции, или репликативной трансляции).

Иными словами, в работе рассматривается модель первого живого существа и процесс его возникновения на абиогенной Земле. Это существо представляет собой нуклеопроteid, белковая часть которого состоит из ~ 100 аминокислотных остатков (процессивная полимераза) и кодирована одонитевым дезоксирибополинуклеотидом, состоящим из ~ 300 нуклеотидных остатков с 3'-концевым фосфатом. Система обладает главными признаками живого организма — способностью к саморепликации и эволюции, основанными на матричном принципе. Два других важнейших компонента живого (компартаментализация и метаболизм) на том этапе эволюции обеспечиваются абиотической природой. Для возникновения такой живой системы и для ее репликации не нужно ничего кроме прогенов и условий, в которых они возникают.

Система имеет вирусоподобную (протовириодную) природу, мигрируя от одного нестабильного абиогенного источника прогенов к другому (скорее всего, речь идет о липосомных структурах в момент их возникновения). Такая система способна к биологической эволюции с естественным отбором по Дарвину и может рассматриваться как первое живое существо на Земле — прародитель биосферы. Анализ свойств протовириода позволяет считать, что он способен к устойчивому воспроизведению нуклеотидных и аминокислотных последовательностей, основанных на матричном принципе. Принцип «катастрофы ошибок» (Эйген, Шустер, 1982), по мнению А. Альтштейна, здесь обходится благодаря использованию для репликации не мономеров, а триплетов и наличию примитивной процессивной полимеразы. По этой же причине может достигаться гомохиральность полинуклеотида.

Таким образом, гипотеза А. Альтштейна указывает путь, принципиально отличный от идеи мира РНК. Согласно Альтштейну химическая эволюция на своем завершающем этапе, используя доступные для понимания и вполне реализуемые в при-

роде механизмы, могла обеспечить образование первого простейшего живого существа на Земле и тем самым ознаменовать начало биологической эволюции.

Важно и то, что такое существо могло иметь минимальную молекулярную массу  $\sim 100\,000$  а.е.м. и состоять из  $\sim 100$  остатков аминокислот и  $\sim 300$  нуклеотидов. Макромолекула с такими характерными размерами могла бы быть размещена в цилиндрическом объеме длиной  $\sim 100$  и диаметром  $\sim 10$  нм.

Серьезным недостатком этой гипотезы следует считать наличие только стереохимических, но не экспериментальных доказательств, подтверждающих ее реализуемость в природе.

### **1.5. Основные трудности**

Из предыдущего раздела следует, что молекулярные структуры, формирующие простейшие формы живой материи, в частности олигонуклеотиды и полипептиды, должны иметь определенную последовательность мономеров с установленным соответствием между их чередованием. Такое соответствие отвечает генетическому коду. Эти молекулы должны также быть гомохиральными и обладать исключительными свойствами, отвечающими молекулам биохимического уровня сложности. Однако, согласно общепринятым статистическим оценкам, такие молекулярные структуры, возникающие в природе абиогенно, не могли возникнуть путем случайного перебора возможных вариантов. Наличие жизни на Земле свидетельствует о том, что простейшая форма жизни должна была возникнуть абиогенно, однако условия, процессы и механизмы, способные обеспечить это, до настоящего времени не удается определить.

Важную информацию по этому вопросу содержит работа (Аветисов, Гольданский, 1996), в которой рассматриваются два возможных варианта возникновения гомохиральных структур — химического и биохимического уровней сложности. Согласно проведенным оценкам, если длина ( $N$ ) цепи полимера не превышает пары десятков звеньев (до  $N = 40$ ), то можно подобрать такие условия образования цепей, когда будут реализованы все возможные, в том числе и «правильные», гомохиральные последовательности мономеров. Макромолекулы такой длины авторы

называют структурами химического уровня сложности. Таким образом, формирование гомохиральных структур химического уровня сложности не требует специфических функций. Однако столь короткие молекулярные структуры не способны обеспечить появление гомохиральных макромолекул биохимического уровня сложности со специфичностью, необходимой для создания простейших форм живой материи

Согласно работе (Аветисов, Гольданский, 1996), если молекула содержит 150 мономерных звеньев и более, то статистическое ограничение оказывается существенным. При количестве мономерных звеньев  $\sim 150$  для получения «правильной», в том числе и гомохиральной, молекулы требуется  $10^{40}$  таких образований, а эта величина сравнима с числом биоорганических молекул на Земле. Это означает, что каждая из молекул последовательностью в 150 звеньев будет уникальна, так как подавляющая их часть не может быть реализована в принципе. Такой уровень сложности молекул, названный биологическим, характерен для энзимов, РНК и ДНК. Доля реализуемых последовательностей, независимо от физических или химических условий, исключительно мала, иными словами, гомохиральные макромолекулы с длиной звеньев  $N = 150$  не могут появиться при случайном переборе всех возможных вариантов. Любая гипотеза, претендующая на объяснение механизма возникновения жизни, должна считаться с этим ограничением и объяснить, как оно было преодолено в природных условиях.

Таким образом, рассмотренные выше ограничения не позволяют реализоваться абиогенному синтезу молекулярных структур, наделенных свойствами, необходимыми для возникновения простейшего организма. К тому же, несмотря на множество предложенных гипотетических процессов синтеза таких структур, пока не обнаружены природные механизмы, способные, преодолев эти ограничения, обеспечить сборку гомохиральных молекул той сложности и с тем минимумом хиральных дефектов, которые адекватны информационному и функциональному уровню реальных биологических объектов.

В одном из разделов работы (Эйген, Шустер, 1982) рассматриваются ограничения, связанные с «катастрофой ошибок». Показаны трудности, возникающие, когда количество ошибок и дефектов в процессе сборки гомохиральной структуры превышает