

Проблемы экзобиологии

М.Г. Танрбеков, В.Я. Климовицкий, Е.А. Ильин

Государственным научный центр РФ - Институт медико-биологических проблем РАН

Представлен обзор современного состояния основных направлений экзобиологии - проблемы происхождения и развития жизни, как космического явления. Обсуждаются данные о возникновении в космосе, распространении в межзвездном пространстве и попадании на поверхность пишет органических соединений, являющихся материалом о.ш образования прототипов живых систем. Рассматриваются вопросы развития жизни в земных условиях, возникновения основных свойств живых организмов различного уровня организации. Приводятся сведения о некоторых проектах исследований в области экзобиологии, реализуемых в экспериментах на борту космических аппаратов.

Введение

Экзобиология как научная дисциплина представляет собой одно из направлений космической биологии и развивается в рамках последней. Считается, что этот термин был впервые введен в 1960 г., тогда как систематическая разработка самого направления началась несколько позже [13]. В настоящее время значительную часть вопросов экзобиологии предлагается объединить в аналогичную дисциплину, определяемую как "астробиология", охватывающую по существу наиболее важные отрасли экзобиологии (физико-химические аспекты возникновения органических соединений, вопросы происхождения и эволюции живых систем) [50].

Центральное место в экзобиологии занимает проблема жизни как космического явления. Вместе с тем, экзобиология отчасти выходит за пределы биологии и занимает область, связанную с целым рядом других естественных наук, имеющих отношение к вопросу о происхождении и распространении жизни. Экзобиология причастна и к теоретической проблеме природы живого, как сущности, отличной от неживой материи и в этом смысле обособленной от среды, несмотря на то, что живые системы являются открытыми.

Попытки создания необходимой формулировки для наиболее общего определения живых систем или жизни неоднократно предпринимались исследователями различных отраслей знаний, однако ни одно из предложенных определений не стало общепризнанным. Дело в том, что границы живого и неживого размыты и наука пытается уловить этот переход, произошедший вне свидетельского наблюдения человеческого разума. Экспериментальное воспроизведение искомого перехода нереально.

Возникновение жизни из неживой материи стало предметом теории, базу которой составляют косвенные экспериментальные данные изучения физико-химических моделей [4], наблюдения земных природных процессов и сопутствующих химических преобразований [8], астрофизические исследования и астрономические наблюдения [19], исследования других планет [11,12], анализ проблем биогенеза во Вселенной и теоретическая реконструкция возникновения жизни на Земле [13].

В связи с рассмотрением сути обсуждаемого вопроса нельзя не упомянуть вклад в эту проблему А.И. Опарина (1894 - 1980), автора получившей мировую известность версии возникновения жизни на Земле. Концепция "коацерватов" А.И. Опарина не получила преемственного развития на современном уровне наших знаний в этой области, но, по выражению современного американского исследователя химической эволюции С. Поннамперумы, сыграла роль "камня, брошенного в воду" (TV -интервью).

Уровень понимания природы живого в настоящее время в принципе позволяет предложить современное естественнонаучное определение жизни. Как будет показано ниже, вряд ли возможно построить какую-либо компактную формулировку. Но в итоге рассмотрения проблемы, несомненно, может быть составлен перечень основных свойств

живых систем.

Несмотря на разнообразие подходов в области теории, экзобиология в части экспериментального изучения предмета остается методически и технологически в пределах космической биологии и ряда смежных дисциплин, в том числе их средств и методов. Значительную часть проблем, связанных с историей возникновения жизни на Земле, экзобиология разрабатывает на основе использования аналогий, сравнений и косвенных данных.

Сказанное дает некоторое представление относительно основного содержания экзобиологии, обширности состава относящихся к ней направлений и продуцируемых идей.

Цель данной работы - рассмотрение современного состояния главной проблемы экзобиологии - происхождения жизни. Основное внимание будет обращено на закономерность возникновения и развития всех основных свойств живых систем вплоть до появления разумных форм.

Материал разделов экзобиологии, посвященных истории формирования основных представлений о Вселенной и ее происхождении, и основных вех в истории естествознания изложен в виде реферата ввиду общеизвестности этих сведений, тогда как вопросы, относящиеся к происхождению и свойствам живых систем, представлены обстоятельно.

Некоторые космогонические концепции и вопрос о происхождении жизни

До выработки достаточно полно обоснованных научных представлений об эволюции Земли, Солнечной системы и Вселенной, наряду с гипотезой о возникновении жизни непосредственно на Земле на основе простых органических молекул и неорганических соединений, рассматривалась и альтернативная гипотеза «панспермии», о внесении микроскопических форм жизни на Землю из космоса. Эта версия возникновения, а появления жизни на Земле предложена Г. Рихтером (1865) и С. Аррениусом (1895). Гипотеза "панспермии" базируется на представлении о вечности жизни как одной из материальных сущностей нашего мира, наряду с неживой материей, и возможности распространения живых организмов типа бактерий или их спор на метеоритах и частицах космической пыли. Такая возможность не отрицается и в настоящее время.

Вводные разделы экзобиологии [13,19] содержат краткое описание истории развития представлений об устройстве и происхождении Вселенной, начиная с античных времен и до концепций XX века. Хорошо известна и может считаться общепризнанной теория о начальном моменте возникновения Вселенной в результате "большого взрыва" ("big bang"), продолжающемся ее расширении и "разлетании" галактик. Выработка этой концепции связана с именами выдающихся ученых конца XIX - начала XX вв. (Хаббл Э., 1889 - 1953; Фридман А.А., 1888-1925; Эйнштейн А, 1879- 1955; Гамов А, 1904- 1968). Что касается масштабов времени, то начало расширения Вселенной представляется отдаленным от нас интервалом порядка 20 млрд. лет [19].

Наиболее важным для экзобиологии итогом рассмотрения космогонических концепций в их современном виде в сопоставлении с изложением проблем возникновения жизни, является весьма важный вывод о существовании в прошлом начальной точки возникновения жизни земного типа. Это действительно следует из изложения концепции *качала* нашей Вселенной, поскольку о возможности синтеза образующих живую материю макромолекул на углеродной основе можно говорить лишь начиная с некоторого этапа эволюции неорганической среды в тех или иных точках космического пространства.

Согласно И.С. Шкловскому [19], вывод об извечности жизни во Вселенной решительно противоречит достаточно надежно обоснованным представлениям об эволюции звезд и галактик. Согласно этим представлениям, в прошлом Вселенная была чисто водородной или водородно-гелиевой плазмой. По мере эволюции Вселенной происходит непрерывное ее "обогащение" (в результате процессов нуклеосинтеза) тяжелыми элементами ..., которые совершенно необходимы для всех мыслимых форм живой материи"

Очевидно, что и образование планет типа Земли возможно только начиная с некоторой

стадии формирования основного состава элементов в процессах нуклеосинтеза [42].

Итак, следует считать, что жизнь на Земле некогда возникла.

Вместе с тем, существует и возможность переноса микроскопических форм жизни, например, бактерий или их спор, на частицах космической пыли или метеоритах. Видимо, только при особых условиях переноса микроформ жизни на метеоритах (масса и материал метеорита, нахождение организмов не на его поверхности) жизнеспособность некоторой части материала сохраняется при прохождении метеорита через атмосферу. Как было показано в работе [39] "ударный шок" не приводит к 100% гибели спор *Bacillus subtilis*

Вполне реален также перенос на микро частицах, и метеоритах, органических молекул [33]. Поэтому, гипотеза внесения на стерильную до тех пор поверхность Земли микроорганизмов из космоса рассматривается наряду с другими. Однако такой подход не дает ответа на основной вопрос - каково *первичное* происхождение жизни. Не имея достаточных фактов для ответа на этот вопрос, исследователи пытаются воспроизвести теоретически возможную последовательность событий, считая местом их осуществления древнюю еще не населенную Землю. Мы полагаем, что такой выбор места действия объясняется только тем, что наличие органической жизни на Земле является фактом, а исследование эволюции лито-, гидро- и атмосферы нашей планеты относительно доступно. Однако в общем случае следовало бы рассматривать некую абстрактную планету, имеющую необходимые условия для первичного возникновения живых систем.

Далее мы убедимся в том, что возникновение жизни в этих условиях - вполне закономерное событие. Остается установить насколько вероятно существование подобных условий где - и когда-либо еще во Вселенной.

Возможность образования органических молекул вне пишет и их перенос в космосе

Начальные этапы химических преобразований, в результате которых на планете сначала возникли сложные органические молекулы, а затем устойчивые надмолекулярные конструкции, уже способные обладать некоторыми свойствами биологических систем, могли осуществляться при наличии в среде планеты простых органических молекул - "*биогенных элементов*" [13]. Что касается этих последних, то, как указывает автор работы, "такие элементы возникали внутри звезд, выбрасывались в межзвездную среду в результате взрывов". В межзвездной среде материал таких выбросов образует "молекулярные облака", в которых присутствуют частицы космической пыли и вещества в молекулярной форме [30].

Среди образующихся молекул могут быть обнаружены и молекулы веществ, являющихся компонентами живых систем или продуктами их жизнедеятельности. Такие вещества обозначаются при изложении проблемы происхождения жизни как "*биогенные*". В частности, в молекулярных облаках были обнаружены, метан, аммиак, двуокись углерода и даже альдегиды, спирты, эфиры, нитриты, производные ацетилена, кетоны, амиды. Список обнаруженных биогенных веществ включает в себя десятки наименований и продолжает пополняться. Рассматриваются возможности процессов химического газопылевого взаимодействия в межзвездной среде, в результате которого возникает целый ряд более сложных органических молекул. Всего к настоящему времени "во Вселенной" (имеется в виду, по-видимому, межзвездное пространство и находящиеся в нем газопылевые и молекулярные облака [13,19]) "обнаружено около 100 видов органических соединений" [1]. Исследователи допускают возможность обнаружения в межзвездном пространстве в составе пылевых частиц таких биологических компонент, как глицин и аденин [13]. Пути и механизмы образования перечисленных биогенных компонент в настоящее время поняты не полностью. Предполагается, что подобные соединения перемещаются в межзвездном пространстве, оказываясь, в том числе в области образования систем типа Солнечной и могут в дальнейшем попадать и на поверхность планет.

Процессы образования органических веществ и биогенных молекул совершаются не только в удаленных от нас частях Вселенной, но и непосредственно в Солнечной системе. Фото- и термохимические реакции, в результате которых осуществляются преобразования

веществ, происходят за счет солнечной энергии. Перенос возникающих при этом биогенных молекул в атмосферу и на поверхность планет и здесь осуществляется частицами межпланетной космической пыли и метеоритами. Согласно современным данным [27], такой перенос вещества осуществляется и внутри солнечной системы.

Дж. Раммел называет следующие факторы, предположительно обеспечившие попадание на поверхность планеты материала и повлиявшие на процессы химической эволюции на поверхности Земли: "поток кометного материала, содержащего органические соединения...; охлаждение поверхности и образование атмосферы, приводящие к образованию жидкой воды; « наличие минералов в качестве катализаторов; фотохимические процессы в атмосфере, протекающие под влиянием солнечного излучения в оптическом диапазоне; взаимодействие воды, атмосферных газов и минеральных материалов; участие биогенных элементов в геохимических процессах; вулканическая деятельность и ее физико-химические воздействия на среду, где происходит формирование предбиологических структур [13]

Условия, способствующие продолжению процесса, совместимые или нет с известными нам пределами существования земных форм жизни, зависят от наличия и состава атмосферы, присутствия воды в жидком состоянии, давления и температуры [1,13,19]. Эти условия могли создаваться, эволюционировать или меняться вследствие локальных или планетарных возмущений. Так, установлено, что на протяжении рассматриваемого периода развития Земли несколько раз следовало возникновение и исчезновение атмосферы, океана и коры.

По всей вероятности, наиболее благоприятные условия для осуществления активной химической эволюции создавались в геофизически активных областях планеты - в районе подводных вулканов, горячих источников, интенсивных атмосферных возмущений, сопровождающихся электрическими разрядами [1,13]. Продуцирование тепловой, электрической, механической энергии в виде перепадов давления могли обеспечить осуществление некоторых химических реакций, не протекающих в других условиях

Как сообщает С.И. Аксенов [1], "...при повышенных температурах, характерных для вулканических областей", из возможных конечных продуктов в виде нуклеотидов. "образуются практически только используемые жизнью 4 нуклеотида", как раз именно те, которым соответствуют обнаруженные в наследственных структурах земных организмов азотистые основания (в ДНК: аденин, А, гуанин, Г, цитозин, Ц, и тимин, Т; в РНК: А, Г, Ц и вместо Т - урацил, У). Отсюда следует, что "...синтез данных нуклеотидов происходит с минимальной затратой свободной энергии по сравнению с другими нуклеотидами и поэтому их выбор известной нам земной жизнью, вероятно, не случаен".

Химическая эволюция на пишите и образование протобиологических структур
Добиологический этап эволюции планетарной среды и биогенных материалов в этой среде отсчитывается от момента образования планеты. В ходе этого этапа, по мере появления и накопления на планете простых органических молекул, происходит образование более сложных устойчивых молекулярных структур, эволюционирующих в направлении самовоспроизведения. Определенная модель системы, обладающая свойством воспроизводить принципиальные особенности системы именно данной конструкции, способна конкурировать с другими моделями за ресурсы среды. Модели систем, приобретающие в определенной последовательности *свойства* (признаки), перечисленные в заключительной части обзора, представляют собой живые системы. Однотипные по конструкции экземпляры могут рассматриваться как *особи* того или иного *вида*. Этот результат и есть не что иное, как возникновение жизни.

Имея в виду сказанное, обратим внимание на относительно короткий, в масштабах истории Земли, период - первые 700 млн. лет с момента образования планеты, в течение которых был пройден путь от начальных этапов химической эволюции биогенных элементов на поверхности Земли до момента появления биологических систем типа клетки.

Оценка продолжительности этого этапа добиологической эволюции делается на основании данных по состоянию физических условий на поверхности Земли и датированию первых достоверно установленных следов бактерий в отложениях древних пород [33].

М. Кальвин [8] полагал, что живые организмы существовали уже 3,1 млрд. лет назад (архей), основываясь на присутствии во всех древних породах ряда специфических углеводородов (алканов), структура которых, по мнению автора, "служит убедительным доказательством их биологического происхождения"

Дальнейшая эволюция от клетки до сложных организмов, включая млекопитающих и человека, заняла существенно большее время - свыше 3,5 млрд. лет. Параллельно совершалась эволюция от клетки до современных высших растений - за период около 2.5 - 3 млрд. лет (достоверные остатки известны с силура [16]).

Данные геологии, теоретические исследования в области физики Земли, модельные исследования позволяют заключить, что физические условия на поверхности планеты свыше 3,5 млрд. лет назад, в которых происходило возникновение жизни существенно отличались от современных. Вопреки традиционным представлениям, солнечное излучение не было более интенсивным и, напротив, составляло всего 70 - 80 % от современного уровня [13,19]. Предполагается, что земная атмосфера того периода за счет более высокого содержания CO_2 создавала более значительный парниковый эффект, чем в настоящее время, что приводило к повышению скорости химических преобразований и осуществлению химической эволюции на этапе развития протобиологических систем а затем и древних микроорганизмов.

Вода океанов находилась в жидкой форме. Значительная подводная вулканическая активность обеспечивала наличие минеральных веществ в воде океанов. Представляется вероятным, что атмосфера Земли этого периода содержала и небольшое количество кислорода, который мог быть использован в процессах развития аэробных форм метаболизма. Наиболее вероятно, что химические и структурные преобразования биогенных материалов, образование макромолекул, а затем и надмолекулярных структур на этапах развития протобиологических систем на поверхности Земли происходили преимущественно в водной среде.

Суть происшедших начальных преобразований состояла в протекании химических реакций синтеза все более сложных органических молекул из более простых (элементарных) органических компонент. Такие реакции протекают с уменьшением свободной энергии, ΔG , и повышением энтропии, ΔS , системы (в данном случае под термином «система» - имеется в виду совокупность смеси реагентов в среде и среда как таковая). Спонтанное осуществление реакций возможно только при выполнении этого условия [9].

Предполагается, что реакции синтеза происходили локально, в районах с высокой степенью активности физических факторов - всплесками тепловой, световой, или электрической энергии [1,9, 13]

Справедливость общих соображений относительно характера процессов начальных этапов химических преобразований до некоторой степени может быть проверена Соответствующие теоретические данные и результаты модельных лабораторных исследований приведены в работе [8]. Возникновение сложных органических молекул, например, порфиринов можно получить в результате спонтанно протекающих реакций более простых веществ, "... начиная с простейших молекул метана, аммиака, воды и водорода под действием электрического разряда" (железо-порфириновая группа /гем/ входит в состав гемоглобина). М. Кальвин приводит эту реакцию "в качестве примера авто каталитической системы", которую можно создать в лаборатории и действие которой можно продемонстрировать экспериментально. Согласно М. Кальвину [8], "процесс автокатализа играет *основную роль в молекулярном отборе*". Далее рассматриваются примеры возникновения трехмерных структур и самосборки полипептидных цепей и полинуклеотидов, коллагена и трансацилазы из идентичных субъединиц.

Таким образом, получены данные о возможности самосборки некоторых сложных органических молекул, являющихся важными компонентами живых систем.

Дж. Раммел [13] отмечает, что "... *природа предбиологических систем, обеспечивших возникновение жизни, остается пока неизвестной* (выделено нами); их состав мог быть

неорганическим, органическим или некоторой комбинацией того и другого.

Большая часть исследований до настоящего времени была направлена на изучение органических структур, поскольку все известные формы жизни основаны на ограниченном, но универсальном наборе органических соединений" В отношении живых структур обычно высказывается мнение об их особой упорядоченности, а последовательность мономеров в макромолекуле рассматривается как уникальная [4].

В работе Л.А. Блюменфельда [4] обсуждается возможность объективной оценки (в энтропийных единицах) "упорядоченности" живой системы. Является ли последовательность мономеров в макромолекулах уникальной? Вероятность возникновения нужной комбинации элементов в виде некоей макромолекулы путем случайного соединения отдельных элементов или их комбинаций в определенной последовательности настолько мала, что, либо "возникновение жизни невозможно", либо упомянутая "последовательность не уникальна". К таким выводам подводит читателя автор. Представление относительно возникновения сложной молекулы из находящихся в водной среде простых ее компонент в виде разового события вряд ли предполагается кем-либо из исследователей. Это, конечно, чисто полемическая постановка вопроса, использованная автором работы [4]. Очевидно, что подобные события в ходе добиологической эволюции осуществлялись не путем разовой реализации случайных сочетаний. Единственным альтернативным путем перехода от низкомолекулярных фрагментов к макромолекулам, а затем к надмолекулярным структурам и, наконец, к клетке за некоторое конечное время, может быть только осуществление всех перечисленных событий в силу действия таких закономерностей, при которых осуществление этого развития по существу *неизбежно*.

Вполне случаен лишь состав присутствующих в среде способных к реакции компонент. Возникновение конкретных макромолекул определяется характером образующихся химических связей и положением равновесия в системе происходящих реакций.

Природа возникновения определенных последовательностей мономеров в макромолекулах, в дальнейшем сохранившаяся в эволюции, исследована в работе М. Кальвина [8]. На основании идентификации последовательностей аминокислот в белковых молекулах различных организмов и возможных условий их синтеза он пришел к заключению, что " механизм, определяющий последовательность аминокислот в полипептидах даже и теперь включает какой-то компонент, для которого наличие кодовой системы первоначально не было обязательным. Более того, можно даже думать, что современная система кодирования аминокислот ведет свое начало от той древней системы синтеза полипептидов, при которой растущая аминокислотная последовательность сама себя определяла" [8]. Находящиеся в среде структуры, состав и последовательность элементов которых обеспечивают их устойчивое существование в течение достаточно продолжительного времени, должны были, по-видимому, эволюционировать в направлении самовоспроизведения. Достаточность времени существования определяется в этом случае возможностью самовоспроизведения за это время.

Процесс может быть продолжен, если достигнутый результат будет передаваться дочерним системам. Если этих свойств нет - структура не может доминировать в среде, конкурируя с иными вариантами, обладающими такими свойствами.

Свойство "уникальности" последовательностей субъединиц в составе макромолекул развилось в полном объеме постепенно. Последовательность мономеров в молекуле полимера - например, последовательность аминокислот в молекуле белка, уникальна лишь в одном отношении, не поддающемся содержательной оценке в энтропийных единицах. Из всего разнообразия таких последовательностей, имеющих один и тот же (в энтропийных единицах) уровень упорядоченности, лишь один вариант соответствует *данной* структуре в организме *данной* особи *данного* вида, а остальные - нет.

Обращает на себя внимание тот факт, что на первых этапах развития протобиологические образования еще не отграничены от среды, непосредственно взаимодействуют с ней и являются ее компонентами - до тех пор, пока конструкция не усложняется настолько, что

внутренние участки системы оказываются в условиях, отличных от условий для внешних ее участков. Возникает прототип системы с внутренней средой, инертность и относительная независимость которой от флуктуации параметров среды увеличивает устойчивость всей системы.

Отграниченность от внешней среды - одно из принципиальных свойств живого. Эта граница в ходе эволюции оформилась в специализированную энергозависимую структуру, представленную биомембранами различного устройства и назначения, обеспечивающими ряд жизненно важных функций, в том числе важнейшую - дифференцированный доступ веществ в систему и из системы в среду. Обратим внимание, что, вообще говоря, среда может быть неживой, живой, но принадлежащей другому виду (в случае паразитизма) и живой, принадлежащей к тому же виду (плод в пренатальном периоде). Во всех этих случаях погруженная в среду система адекватно отделена от нее, и, одновременно сообщается с ней.

Перечисленными выше вопросами не исчерпывается полностью вся проблема возникновения и развития протобиологических систем, исторически предшествовавших возникновению собственно живых систем. Переход от одних систем к другим системам совершался в течение продолжительного периода времени, и завершение этого процесса можно было бы установить по совокупности развившихся в итоге признаков. В условиях преобладания систем, имеющих эти признаки, должны были исчезнуть и исчезли все предшествующие формы, как не способные конкурировать с вновь возникшими.

Присутствие первых микроорганизмов было констатировано при исследовании образцов минералов. "В породах старше 2,5 млрд. лет обнаружено чрезвычайно мало окаменелых остатков - на сегодняшний день известно лишь 5 микро окаменелостей (микрофоссилий) и 8 районов со строматолитами (структурами, образованными сообществами микроорганизмов). Такая малочисленность подчеркивает важность недавних открытий строматолитов в Южной Африке и Западной Австралии" [13]. Разнообразие очертаний клеток в обнаруженных там отпечатках указывает на различие живых организмов - нитеобразных прокариотов, уже существовавших в этот период. Однако их возникновение должно, конечно, датироваться еще более давними сроками.

Возникновение и развитие основных свойств живых систем

Прежде всего, необходимо, наконец, определить значение широко используемого в экзобиологии термина "живая система". Большинство биологов считает, что живое начинается с клетки. Последуем этому принципу, понимая, что применительно к проблемам экзобиологии целесообразно в качестве живой системы рассматривать индивидуальный организм вообще, независимо от уровня его сложности, *начиная* с клетки.

Усложнение структуры протобиологических систем в ходе их формирования привело к необходимости поддержания стабильности структур системы при помощи специальных механизмов, среди которых эволюционно сложился и закрепился способ организованной ликвидации (разборки) деградировавших или несущих в себе ошибку структур и замены их на новые идентичные структуры [15,16]. Совершаемая при этом работа, как уже говорилось выше, требует притока свободной энергии из среды в систему. Эта потребность нашла свое выражение в виде специализированной структуры и функции - получения, аккумуляции и освобождения энергии, необходимой для поддержания *постоянства* системы, одного из главных условий ее конкурентного существования.

Одна из принципиальных особенностей функционирования живой системы, как это уже отмечалось, - непрерывно идущие в ней процессы разборки, синтеза и замены макромолекулярных компонент по мере возникновения и накопления в них ошибок в процессе функционирования [15,16].

Это обстоятельство ведет к следующим важнейшим свойствам живых систем - это:

- (1) постоянно происходящий обмен веществом со средой;
- (2) постоянная потребность системы в энергии, в том числе в покое.

Система удалена от равновесного состояния [47] и поддерживает необходимую

неравновесность за счет непрерывного потока свободной энергии субстратов окисления из среды в систему, рассеивая отдаваемую в среду энергию в виде тепла. При этом даже для клетки теоретически справедливо неравенство $T_{in} > T_{cx}$, где T_{in} и T_{cx} - соответственно температура системы и внешней среды.

Расход энергии на осуществление разборки и синтеза структур значительны. Для примера - энергия одной пептидной связи в молекуле белка составляет около 1300 Дж/моль. На образование ее расходуется энергия 3х - 4х фосфатных связей АТФ при КПД процесса синтеза белка $\leq 26\%$, как это установлено экспериментально [7]. В живой системе, не совершающей внешней работы и в этом смысле находящейся в покое, происходят процессы, обеспечивающие ее постоянство - синтез АТФ, поддержание зарядов, ионных потоков и ионных градиентов на мембранах, разборка и сборка макромолекул, нейтрализация и транспорт продуктов метаболизма осуществление других энергозависимых функций. В связи с этим живая система только на поддержание своего постоянства в покое расходует значительную энергию (рост, развитие и рабочие функции в данном случае не рассматриваются).

Наличие таких специализированных внутрисистемных конструкций как митохондрии, в которых осуществляются необходимые преобразования энергии, свойственно только живой системе уровня клетки. Соответствующая структура и функция, по-видимому, являются итогом длительного эволюционного развития. Как новые структуры и функции возникают в самой эволюционирующей системе и "вписываются" в программу ее конструкции? Представлениям генетики соответствует такая последовательность событий: программа спонтанно и случайным образом мутирует, в соответствии с чем, изменяется имеющийся или возникает новый признак. Такой схеме развития за последнее время противопоставлена неожиданная гипотеза о возможной симбиотической ассимиляции клеткой в качестве энергообеспечивающей структуры представителей прокариотов, аэробных бактерий, в итоге закрепившихся в клетке в качестве постоянных ее органелл (митохондрий [44]).

Принятие этой гипотезы требует допущения, что изменение генетического кода происходит *после* того, как в системе произошли структурные изменения. Это - "неудобное" для теории наследственности предположение, по-видимому, должно быть трудно воспринимаемым. Однако оно не более трудно для теории, чем объяснение возникновения в эволюции такого важнейшего свойства живой системы, как сама наследственность и ее материальная основа.

Для получения приемлемых объяснений возникновения наследственной структуры можно прибегнуть к наиболее общим положениям теории эволюции. Различные по конструкции и свойствам протобиотические системы могли конкурировать за преобладание в среде на основе возможности размножиться любым способом, начиная с простого механического разделения на части по достижении критической массы, объема или формы. Совершенно очевидно, что преобладать в среде стали те системы, конструкция и свойства которых могли достаточно точно воспроизводиться и поддерживаться в разделившихся частях. Высказанных утверждений вполне достаточно, чтобы убедиться, что при этом неизбежно должен возникнуть и развиваться (в любой необходимой степени) способ воспроизведения и поддержания свойств исходной системы данного вида. Этот способ, в конце концов, реализовался в клетке в виде молекул ДНК и РНК с функцией хранения, передачи и воспроизведения необходимой информации.

Конечно, это всего лишь предположение о движущих силах и закономерностях процесса, не раскрывающее механизмов выбора носителей наследственной информации, конструкции информационной молекулы и ее эволюции вместе с системой. Здесь целесообразно вернуться к упомянутым выше данным, касающимся присутствия в составе ДНК в виде комплементарных пар 4х азотистых оснований А-Т и Г-Ц [17] Синтез соответствующих нуклеотидов "... происходит с минимальной затратой свободной энергии по сравнению с другими нуклеотидами и поэтому их выбор известной нам земной жизнью, вероятно, не случаен" [1]. Возможность автокаталитической самосборки полинуклеотидов (в

присутствии полиадениловой кислоты вероятность встречи двух нуклеотидов более высока) продемонстрирована экспериментально в работе [8].

Важно было бы определить очередность, в которой могло возникнуть такое важнейшее свойство живой системы, как наследственность - сравнительно с другими также существенными средствами сохранения и преобладания в среде систем определенной конструкции. Представляется логичным предположить, что наследственные структуры и функция сохранения и передачи информации относительно устройства системы должны были развиться ранее большинства других функций. В противном случае все достигнутые к этому времени полезные приспособления могли бы быть утрачены при размножении системы или при ее гибели и должны были бы вырабатываться вновь многократно. Возникает предположение, что механизм наследственности и мутаций возник раньше других и послужил мощным средством осуществления эволюционного процесса.

Однако мы не располагаем достаточными критериями для определения уровня развития системы, который может быть достигнут, ею в ходе эволюции до появления наследственного механизма.

По этому поводу Дж. Раммел [13] высказывает практически те же соображения: "Центральным вопросом происхождения жизни является то, как на Земле возник первый примитивный механизм самовоспроизведения. Чтобы концептуально воспроизвести этот процесс, экзобиологи в настоящее время ищут ответы на два фундаментальных вопроса: насколько структурно и функционально сложной может стать система, не обладающая генетическими способностями? И наоборот, насколько структурно и функционально простой, может быть, система, которая все же выполняет функцию самовоспроизведения?"

Выше предложенная нами версия изложения этой проблемы возникла до прочтения цитируемой работы. Совпадение подтверждает актуальность постановки подобного вопроса. Вместе с тем, в данном случае мы считаем важным высказанное выше предположение о приоритете возникновения наследственного механизма перед другими фундаментальными свойствами живых систем в эволюции.

Поддержание постоянства системы при помощи разборки нарушенных структур и сборки, идентичных им новых структур в условиях конкуренции за источники вещества и энергии требует максимально возможного ускорения химических преобразований. Результатом развития системы в этом направлении является выработка специальных механизмов *ферментативного катализа*.

По мнению В.П. Скулачева [14] наличие цепочек пространственно организованных ферментных систем, обеспечивающих дыхание и анаэробное окисление, окислительное фосфорилирование, гидролиз пирофосфатных связей, синтез разнообразных химических связей, реакции переаминирования, транспорт ионов и другие, жизненно важные реакции отличает клетку от ее добиологических прообразов и от смесей веществ, с гораздо медленнее протекающими реакциями. Приобретенное свойство клетки многократно ускорять необходимые химические преобразования, обозначено С.Э. Шнолем специальным термином - "кинетическое совершенство" [20].

Живая система вырабатывает в эволюции все более совершенные механизмы получения информации о внешней среде. Одновременно условием существования живой системы является и контроль состояния ее внутренней среды. Эти функции первоначально могли представлять собой просто локальное взаимодействие с компонентами внешней и внутренней среды и реакции компонент биологической системы.

Итогом эволюции этих свойств могли стать возникновение, развитие и морфо-функциональная специализация структур, обеспечивающих тестирование (идентификацию) свойств внешней и внутренней среды и осуществление адекватных ответных реакций системы. Дальнейшая специализация и усложнение функций - восприятие и анализ.

Сложные формы поведения и возникновение разума на основе специализированных клеток, тканей и органа, состоящего из 10^8 - 15×10^9 нейронов, потребовали высокой удельной мощности энергообеспечения этих структур, возможно, близкой к предельной для

обеспечения переноса субстратов окисления, кислорода и термостатирования за счет микроциркуляции [16]. Возможности мозга не исчерпаны, но дальнейшее усложнение конструкции на той же принципиальной основе, может быть лимитировано энергетически.

Как мы условились, речь идет о земных формах жизни, поддерживаемых генетической программой в границах использования углеродно-водной основы и общих принципов построения предшествующих и существующих моделей системы. По-видимому, переход к иной основе и полному изменению принципов построения живых систем в рамках адаптации или даже видообразования нереализуем. Система пластична, но пределы ее приспособляемости определяются формой волны флуктуации параметров среды.

Живым системам присуще свойство конкурентности в отношении тех же самых или иных форм близкой экологической специализации. Отметим, что в силу наличия свойства размножения живая система имеет тенденцию к распространению и захвату новых пространств. Другими словами, она проявляет тенденцию и возможности неограниченного распространения во Вселенной - как за счет естественного механического переноса космическими телами или частицами космической пыли микро форм, так и целенаправленного распространения высокоорганизованных форм жизни, с помощью созданных разумом технических средств.

Индивидуальная живая система конечна (эукариоты). Смертность живой системы у эукариот обеспечивает замену предъявляемых к отбору особей следующим поколениям, что дает возможность реализовать новую комбинацию индивидуальных свойств в пределах генома при безусловной и полной ликвидации всех образцов предшествующего варианта. Благодаря реализации этой стратегии, эукариоты продемонстрировали громадное разнообразие принципиально отличающихся друг от друга типов организации - от простейших и кишечнополостных до высших млекопитающих и человека. В пределах этого диапазона разместился многочисленный класс членистоногих, морфологическая, экологическая и поведенческая специализация которых являются особенно впечатляющими.

Возможно, самовоспроизводящаяся модель в виде бесконечно делящихся экземпляров (прокариоты) не способна к ароморфозу в отличие от конечных моделей. Несмотря на разнообразие форм, типов метаболизма и огромную суммарную биомассу, прокариоты в течение свыше 3,5 млрд. лет занимают одну и ту же нишу, в пределах которой совершалась их эволюция. Очевидно, в отношении прокариотов утрачивает смысл понятие "особь", а вместе с тем и индивидуальная уникальность, и естественная смертность.

Имеются две точки зрения на природу механизмов естественной смерти. Эти механизмы либо (1) предусмотрены программой [35, 43], либо (2), живая система не обеспечивает коррекции накапливающихся в ней многофакторных ошибок и возникающих при этом нарушений и отклонений функций [45,49]. На первую возможность указывает наличие программного механизма учета времени жизни системы, ограничение числа деления клеток, наличие механизма апоптоза. В таком случае механизмы самоликвидации системы присутствуют в программе и запускаются с момента начала индивидуального жизненного цикла, само наличие которого предусматривает смену фаз онтогенеза, включая его естественное завершение. Имеются многочисленные подтверждения наличия программного ограничения продолжительности индивидуального жизненного цикла [26, 31,36, 46,48]. Второй вариант (накопление случайных ошибок) представляется менее вероятным уже в силу наличия механизма коррекции случайных ошибок, возникающих в самой молекуле ДНК и наличия в многоклеточном организме эмбриональных (стволовых) клеток, не подверженных возрастным изменениям. Подведем некоторые итоги.

• *Живая система земного типа характеризуется следующими свойствами:* 1 Избирательная ограниченность от внешней среды

2. Вода в качестве основы внутренней среды
3. Углеродные (органические) соединения как структурная основа
4. Устойчивая неравновесность за счет энергии внешней среды

5. Постоянство при непрерывном обновлении структур
6. Ферментный катализ
7. Поддержание и наследование признаков
8. Молекулы ДНК и РНК в качестве основы наследственности
9. Матричный синтез нуклеиновых кислот
10. Мутации и тенденция к дальнейшей эволюции
11. Адаптивная приспособляемость к новым условиям
12. Размножение, пространственная экспансия

• **Применительно к эукариотам в целом :**

13. Развитие, рост и естественная смерть каждого индивидуума

• **Применительно к высшим формам организации живых систем:**

14. Индивидуализация и уникальность экземпляров (особей)
15. Способность к восприятию среды и самовосприятию
16. Возможность достижения в эволюции разумных форм

В перечне указываются. (1) основной элемент структуры - углерод; (2) основа внутренней среды - вода, и (3) молекулы ДНК и РНК- носители наследственности. Этого можно было бы не делать, поскольку принципиально мыслима и другая основа, позволяющая построить систему с аналогичными свойствами, но в иной внешней среде. Но вряд ли возможны достоверные предположения относительно свойств живой системы, возникшей в иной, не земной внешней среде, кроме того, что и иная форма жизни, скорее всего также будет эволюционировать в направлении возникновения разума.

Обмен веществом и энергией системы со средой в перечне не упомянут самостоятельно, поскольку является следствием других свойств (3 и 4) и может быть введен в список исключительно в качестве дани известным традициям. Не упомянуто также свойство конкурентности к системам другого и того же самого вида, поскольку это свойство является следствием свойств 5, 6 и 10 (из признака 6 следует потребность в веществе среды).

Приведенный перечень свойств не содержит, конечно, ничего нового в сравнении с хорошо известными ранее характеристиками живых систем. Но он представляет собой общую сводку соответствующих признаков и может быть использован при построении искомого определения жизни. Но очевидно, что такое определение не будет компактным.

Распространение форм жизни на Земле и влияние живых систем на среду планеты

Общепризнанным является представление о том, что все известные формы жизни есть результат эволюции биосистем от *одного и того же* типа живой системы, что подтверждается наличием единого для всех земных форм молекул - носителей наследственной информации, использованием одного и того же кодирования. Во всех вариантах живых систем используется один и тот же состав аминокислот. Таким образом, существование единого эволюционного процесса бесспорно. Однако возникновение и развитие жизни на Земле, возможно, не было непрерывным, ранние этапы этого процесса могли обрываться, а развитие могло прекращаться из-за планетарно-космических катастроф, приводивших к изменениям среды, несовместимым с существованием уже возникших форм.

Данные палеонтологии указывают и на прекращение существования многих успешно развившихся или господствовавших типов живых организмов. Причины этих событий не всегда могут быть выяснены. Но, возникнув в результате успешной эволюции, живые системы неуклонно распространялись по поверхности планеты, занимая все виды среды и все зоны и ниши этой среды, доступные для каких бы то ни было живых существ.

Появление и распространение на планете живых систем и возникновение огромной их массы существенно повлияло на среду планеты. Одновременно происходило и обратное воздействие. Уже в самом начале эволюции сложились циклические взаимодействия: развивающаяся жизнь изменяла химический состав среды, это в свою очередь оказывало влияние на эволюционный процесс, воздействуя не только на его темп, но и его направления.

По В.И. Вернадскому, живые организмы "являются функцией биосферы и огромной геологической силой ее определяющей" [5].

Согласно данным геологии, содержание атмосферного кислорода в начальный период возникновения жизни было на порядок ниже, чем в современную эпоху. Начальные живые системы наиболее вероятно были анаэробными. Достоверно установлено, что анаэробные бактерии древнее аэробных. Древнейшие бактерии использовали фотосинтез, в результате чего количество атмосферного кислорода постепенно возросло до уровня, при котором более интенсивно начали развиваться аэробные формы, прежде всего также бактерий. Возможный путь эволюции в направлении аэробноза - постепенное усвоение анаэробными системами отдельных реакций взаимодействия с кислородом, в том числе через этап включения в цепь посредников переноса электронов - нитратов. Результаты исследований показали, что кислородному дыханию, возможно, предшествовало нитратное дыхание.

В итоге в среде планеты сложилась замкнутая цепь взаимозависимых процессов, включающая в себя ряд локальных циклов: глобальный кислородный цикл, неотъемлемой частью которого являются аэробные процессы в живых организмах и планетарные физические процессы, быстрые - ультрафиолетовое излучение Солнца, возмущения геомагнитного поля, и, медленные - изменения климата и другие явления, оказывающие глобальное воздействие на живые организмы.

На протяжении всего периода формирования жизни и по настоящее время бактерии обеспечивали значительную часть циклических превращений веществ в воде, атмосфере и на суше планеты (нитрификация - денитрификация, фиксация азота, окисление и восстановление серы, окисление железа и образование болотных руд).

Практически все природные соединения разлагаются бактериями не только аэробными, но и анаэробными, такими акцепторами электронов, как нитрат, сульфат, сера, углекислый газ.

Растениям, появление которых датируется давностью в 3 млрд. лет, принадлежит особо важная роль в формировании состава атмосферы, необходимого для обеспечения существования всех аэробных организмов на Земле в настоящее время и в процессе эволюции. Растительные организмы, извлекая из атмосферы углекислый газ и выделяя кислород, по объему глобальных функций в круговороте веществ занимают второе место после бактерий, а по современным данным даже превосходят их. Глобальное влияние высших животных не столь сильно выражено, как влияние бактерий и зеленых растений.

Мы не включаем в эту оценку глобальные последствия технической деятельности человека, которые сопоставимы с воздействиями всех других форм земной жизни в совокупности. Хорошо известен "парниковый эффект" в атмосфере Земли, являющийся, как полагают специалисты, результатом стихийного загрязнения атмосферы продуктами технической цивилизации. Эксперты предсказывают в качестве последствий накопления этих факторов глобальное потепление к концу столетия на величину, лежащую в пределах 1.5÷5.9°C повышение уровня мирового океана, серьезные гуманитарные, демографические и экономические катастрофы. Ввиду отсутствия эффективного регулирующего механизма, обстоятельства не подчиняются контролю, несмотря на существование международных соглашений [10,15].

Возникновение жизни: вероятность и неизбежность

В самом начале рассмотрения проблемы было установлено ограничение: при обсуждении вопросов происхождения и свойств жизни рассматривается только ее земная форма. Составленный выше перечень свойств живой системы построен именно на такой основе. В условиях известного нам мира перечисленные свойства живого *в их совокупности* присущи только живым системам, независимо от их химической основы.

Целесообразна постановка вопроса о принципиальной не случайности, а в определенных условиях - и неизбежности возникновения жизни земного типа. Из материала представленных выше разделов следует, что образование в космосе и попадание на

поверхность планет биогенных молекул, а также возникновение на планете химических соединений, дающих начало развитию живых систем - закономерные события. Случайным фактором является "выбор" планеты, физические и химические условия на ее поверхности, совместимые или не совместимые с процессами формирования живых структур.

На поиски подобных Земле планет направлены усилия исследователей в связи с возможностью открытия на этих планетах признаков наличия или существования в прошлом живых систем.

Жизнь земного типа не уникальна в том смысле, что не существует никаких ограничений на возникновение ее в подобных Земле условиях где-либо в космосе. Однако вероятность наличия совокупности этих условий, как результата реализации случайных процессов образования планетной системы типа Солнечной, включая наличие планеты, по характеристикам подобной Земле, по-видимому, очень невелика. К необходимым условиям относятся: наличие атмосферы, отсутствие в ней биологически агрессивных компонент, достаточность атмосферы для защиты жизни от ультрафиолетового излучения (УФИ) Солнца, достаточность магнитного поля планеты и магнитосферы для ограничивающего взаимодействия с солнечным ветром [11], наличие гидросферы, давление и температура, соответствующие диапазону существования органической жизни.

Атмосфера надежно экранирует биосферу от большей части электромагнитного излучения Солнца: до поверхности Земли доходит лишь узкая полоса в области ближнего УФИ, видимого и инфракрасного излучений, а также часть радиоизлучения. Излучения с длиной волны короче 290 нм, обладающие высокой биологической активностью и в больших дозах губительные для всех организмов, полностью поглощаются атмосферой Земли.

Геомагнитное поле является препятствием для потока протонов и электронов солнечного ветра, не позволяя этим потокам приблизиться к поверхности Земли [6].

Далее, если отсутствует гидросфера, а масса планеты мала - атмосфера планеты невосполнимо утрачивает водород, без которого невозможно образование воды, а далее и возникновение жизни [19].

Земля обладает всеми необходимыми условиями, для поддержания *существования* на ней живых систем. Комплекс условий, необходимых, для *возникновения* жизни определен лишь частично, и об этом сказано выше.

В качестве примера одного из условий развития жизни рассмотрим несколько подробнее вопросы, связанные с оценкой влияния температуры на функционирование живых систем.

Диапазон температур, "в которых может поддерживаться жизнь", как считает автор работы [32], соответствует границам около $-50 \div 110^\circ \text{C}$ (имеется в виду постоянно действующая температура). Что касается верхней границы, то она, возможно, еще выше - по крайней мере, для термофильных бактерий, обитающих в горячих источниках на дне океана, где вода остается в жидком состоянии при $t \gg 100^\circ \text{C}$ благодаря высокому давлению.

Относительно нижней границы необходимо отметить, что кристаллизация воды в клетке при замораживании приводит к механическим повреждениям клеточных структур [51]. Нижняя граница в данном случае относится к температурам холодной *консервации* тканей, допускающей их последующее выведение из переохлаждения. Полагают, что жизнеспособными могут оказаться микроорганизмы, находящиеся в антарктических льдах на протяжении сотен тысяч лет [21]. Разрабатываются методы обратимого глубокого замораживания биоматериалов в экспериментальных условиях при температуре жидкого азота [41]. Тем не менее, конечно, не может идти речи о функционировании каких-либо организмов при температурах замораживания. Поэтому указанные в работе [32] верхняя и нижняя границы неравнозначны. Правильнее было бы рассматривать в качестве необходимого диапазон собственных температур живых организмов, в котором они способны активно функционировать. Температура одиночно живущих клеток, при потреблении энергии $E > 0$, в водной среде теоретически выше температуры среды, но это неизмеримо малое отличие.

Для простейших температурные границы активной жизнедеятельности совпадают с границами жидкого состояния воды. Но ни один из видов не может функционировать во всем указанном диапазоне температур. Вид занимает лишь определенный участок температурной шкалы в соответствии со своим энергообменом и биологией. Видам свойственна тем большая температурная специализация, чем в меньшей мере их собственная температура отлична от температуры среды (подчеркиваем: речь идет об активном функционировании, а не о выживании). Но и в своем диапазоне индивидуальный организм для своей активности выбирает еще более узкий участок вблизи некоторой зоны оптимума, ширина которой опять-таки зависима от степени термоизоляции, метаболизма и массы тела. У пойкилотермных видов температурные характеристики ферментов (в частности. АТФ-аз скелетных мышц) сформировались в соответствии с температурой специализации вида [2].

Какие температуры необходимы для возникновения и функционирования первоначальных форм живых организмов? У белковых молекул, функциональные зависимости от температуры имеют экстремум-максимум в узкой области температурной шкалы (2-3 С) [2,18]. Ширина функционального температурного диапазона фермента тем шире, чем менее значительна функциональная нагрузка [16,18]. Пользуясь аналогиями с теми же характеристиками для ферментов современных организмов можно полагать, что участок-шкалы $\Delta T = T_{max} - T_{min}$, в котором функционировали прототипов живых систем, был широк и соответствовал интервалу в несколько десятков градусов ($\Delta T = 10 n$, где $10 > n > 1$).

Для современных одноклеточных такой участок температур не превышает 10 градусов. При этом диапазон выживаемости гораздо шире, в особенности в сторону низких температур, но за пределами температур активности эволюционное развитие живых систем оказалось бы невозможным.

Случайное "попадание" температур на поверхности планеты в нужный для развития жизни интервал ΔT в несколько десятков градусов при возможном разбросе температур, например, на планетах Солнечной системы и их спутниках, в $\sim 400^{\circ}\text{C}$ [11,12] - маловероятно. При случайном выборе и непрерывном спектре температур вероятность, p , составила бы при $n = 4$ около 0.1. В действительности непрерывного спектра температур нет, поскольку "выбирается" не участок спектра, а планета, эффективная температура на которой зависит от большего количества планетарных параметров и параметров орбиты и $p \ll 0.1$.

М. Маров [11] сообщает, что "если принимаемая сейчас "стандартная" модель солнечной эволюции справедлива, ... то температура на ранней Земле оказывается ниже точки замерзания даже морской воды". Этот вывод, указывает далее автор, противоречит современным геологическим и палеонтологическим данным. Автор предлагает внести коррекцию на парниковый эффект, делая ряд допущений относительно состава атмосферы и атмосферного давления у поверхности.

Приведенные примеры демонстрируют существующие трудности и степень неопределенности результатов при оценке условий, в которых проходили начальные процессы формирования живых систем. Мы не будем обсуждать другие физические факторы, необходимые для успешного осуществления процессов добиологической и начальной биологической эволюции на планете.

В целом можно заключить, что вероятность случайной реализации на поверхности планеты всех необходимых условий для возникновения жизни крайне мала.

На протяжении столетий вместе с совершенствованием техники не прекращается поиск различными средствами подобных Земле планет и признаков их обитаемости. Сообщения относительно обнаружения подобных объектов редки. Особо тщательно в связи с проблемой возникновения или распространения жизни анализируются данные, касающиеся планет Солнечной системы [52]. Не ослабевают внимание исследователей и к Марсу [23, 28, 29, 30,36, 40] а также, хотя и в меньшей степени, к Венере [24]. Лишь небольшое количество данных о возможном наличии признаков ранее существовавших бактерий, получено только в отношении Марса [50].

Некоторые перспективные исследования по экзобиологии

Свидетельства о деятельности разумных форм жизни могут быть едва ли ни единственным универсальным доказательством ее существования где-либо кроме Земли. Прием и анализ радиосигналов из космоса, поиск любых других признаков наличия разумных форм в любых галактиках и звездных системах [1] - при огромном прогрессе средств и возможностей современной астрофизики - до настоящего времени заканчивались отрицательным результатом. Это дало повод И.С. Шкловскому в качестве итога 25-летних исследований этой проблемы высказать предположение об уникальности жизни в ее единственной реализации в земной форме и полном одиночестве разума человека во Вселенной [1.19]. В действительности речь может идти только об уникальности Земли и условий, которые сделали возможным возникновение и развития жизни на нашей планете.

Значительное внимание исследователей привлекает устойчивость живых микрообъектов к жестким воздействиям физических факторов космического пространства при возможном интерпланетарном их переносе. Эксперименты на борту космических аппаратов проводятся на таких объектах как споры грибов, вирусы, биомолекулы (ДНК), аминокислоты, липосомы. Биообъекты были экспонированы в космосе вне магнитного поля Земли на Apollo 16, а также на низких околоземных орбитах (Spacelab1, Spacelab D2, ERA на EURECA LDF, BIOPAN на FOTON-e). Физические факторы космоса - высокий вакуум, интенсивная солнечная ультрафиолетовая радиация, различные компоненты космической радиации и экстремальные температуры воздействовали на генетическую устойчивость и увеличили частоту мутаций, повреждение и инактивацию ДНК. Внеземная УФ радиация была наиболее детальным фактором. Защищенные от УФ радиации *Bacillus subtilis* выживали даже после 5 лет пребывания в космосе. Планируются дальнейшие исследования [37].

Международная Космическая Станция (МКС) будет нести на себе внешнее устройство EXPOSE для экзобиологических исследований в открытом космосе и / или в выбранных для этого условиях. В дополнение к эксперименту в космосе, потребуется основательная наземная поддерживающая программа, с помощью которой планируется: (I) обеспечить возможность совместного использования EXPOSE для экспериментов в условиях космоса; (II) рассчитать возможность осуществления различных экспериментов (с органическими материалами и биологическими объектами); (III) оптимизировать эксперименты; (IV) провести эксперименты в условиях, имитирующих среду в EXPOSE; (V) осуществить параллельный наземный контроль, (VI) выполнить послеполетный анализ явлений, наблюдавшихся в космосе.

Для этих исследований будут подготовлены лабораторные стенды, обеспечивающие воспроизведение параметров среды и факторы, действующие на объекты, экспонируемые в космическом пространстве, такие как вакуум, солнечное электромагнитное и ионизирующее излучение, соответствующие космосу температуры и пониженная сила тяжести, что будет имитировано в избранных сочетаниях факторов.

Для решения перечисленных задач и в связи предстоящим полетом на Марс, в ближайшей перспективе международное научное сообщество (Российское авиакосмическое агентство, I (ациональное агентство по авионавтике США, а также Европейское и Японское космические агентства) планируют новые исследования по проблемам экзобиологии.

Эти исследования дадут ответ на вопросы, относящиеся к экзобиологии. такие как возможность переноса из внеземного пространства на Землю органических молекул. необходимых для возникновения жизни, влияние солнечной ультрафиолетовой радиации на генетическую стабильность, стратегии адаптации к экстремальным факторам среды, возможность и пределы для переноса жизни и необходимость планетарной защиты [38].

Заключение

Рассмотрены данные, относящиеся к происхождению жизни, формированию основных свойств живых систем, возникновению и эволюции этих свойств вплоть до развития разумных форм. Совокупность имеющихся результатов изучения живых организмов, ископаемых остатков, астрономических наблюдений и астрофизических исследований приводит к заключению о высокой вероятности возникновения и развития жизни на планетах, условия на которых обеспечивают возможность существования живой материи. Возникновение жизни в этом случае вполне вероятно. Однако наличие условий, необходимых для осуществления подобных процессов где-либо во Вселенной является чрезвычайно редким событием.

Согласно современным космогоническим концепциям. Вселенная около 20 млрд. лет назад представляла собой водородную или гелиево-водородную плазму высокой плотности. Жизнь могла возникнуть только после продолжительного развития Вселенной, включая «обогащение» ее в ходе процессов нуклеосинтеза, более тяжелыми элементами, необходимыми для всех форм живой материи [19]. Отсюда напрашивается вывод о том, что жизнь не извечна, она когда-то возникла. В качестве места первичного возникновения жизни в общем случае должно рассматриваться космическое тело, физические и химические условия на котором были бы приемлемы для функционирования живых систем.

В этом случае целесообразно рассматривать возникновение форм жизни, подобных земной, то есть построенных на органической углеродно-водной основе и имеющих наследственный аппарат на базе нуклеиновых кислот. Ибо в настоящее время нет никаких фактов, позволяющих обсуждать возникновение иных вариантов существования живой материи.

Возникшая жизнь в виде ее микроформ в покоящемся состоянии (например, споры бактерий) может распространяться во Вселенной на физических носителях - метеоритах и частицах космической пыли (гипотеза панспермии).

Возможны следующие ситуации при переносе в космосе микроформ жизни:

- (а) на стерильную планету с пригодной для развития жизни средой,
- (в) на планету в период незавершенного саморазвития на ней жизни;
- (с) на планету с развитой жизнью

В первом случае на стерильной планете разовьется жизнь на базе внесенных наследственных материалов; во - втором, конкуренция абиогенного и внесенного извне вариантов жизни приведет к освоению среды планеты «реципиента» более продвинутыми в эволюционном отношении формами, в третьем случае, поступившие извне микроформы, очевидно, не изменят заметным образом хода биологических процессов на планете с развитой жизнью.

Этап возникновения прокариотической клетки уже содержит в себе переход от неживой материи к органической жизни. Этот этап включает в себя химическую эволюцию, появление белковых молекул, возникновение молекулярной основы наследственности и ферментных систем, развитие надмолекулярных клеточных структур, формирование границы биологической системы и внутренней среды. Некоторые информационные аспекты проблемы рассмотрены в работе [4].

Жизнь, первично возникшая в некоторой точке Вселенной, безусловно, имела определенные преимущества в виде времени своего бесконкурентного развития. До тех пор, пока сохранялась «одновариантность» жизни во Вселенной, процессы, необходимые для возникновения клетки, могли протекать и более длительное время, чем те, которые по современным данным имели место на Земле - всего 700 млн. лет [8,13]. Отметим, что весь эволюционный процесс на Земле, включая появление *Homo sapiens*, занял около 4 млрд. лет, тогда как критический порог, отделяющий живое от неживого, включая программу построения живой системы, был преодолен всего за 18-20% этого времени.

Указанные временные параметры вновь делают актуальной в отношении Земли «панспермии» (Рихтера-Аррениуса). несмотря на весьма обоснованную концепцию ее

возникновения на нашей планете (Опарин 1922, Кальвин 1971, Поннаперума. 1984, Раммел, 1994). Возможно, что земные формы жизни являются продуктом эволюционного развития занесенных на Землю микроорганизмов, доклеточные этапы, формирования которых проходили на другом комическом теле в течение времени, большего чем 700 млн. лет, причем не обязательно в пределах Солнечной системы.

В рамках этой версии одним из направлений исследований происхождения земной жизни является оценка возможных сроков и расстояний переноса жизнеспособных микрообъектов в космосе.

Теоретическая часть программы таких исследований должна содержать, с нашей точки зрения, разработку моделей взаимодействия нескольких источников переносимых в космосе микроформ жизни, включая биологические, астрономические и астрофизические аспекты.

Экспериментальные исследования по проблеме могут быть выполнены на различных объектах простейших органических веществах, высокомолекулярных соединениях и микроорганизмах на борту различных космических летательных аппаратов, в том числе и специализированных спутников типа «Бийон» и «Фотон», в развитии уже проведенных экспериментов.

Литература

1. Аксенов СИ. Отчет-1995. Экзобиология. МГУ - ИМБП, С. 90 - 110
2. Александров В.Я. Клетки, макромолекулы и температура. Л., Наука, 1975
3. Биллингем Дж., Тартер Дж. // Космич. биол. и медицина. Т.1, М., Наука, 1994, 392 - 434
4. Блюменфельд Л.А. Проблемы биологической физики М., Наука, 1977
5. Вернадский В.И. Биосфера. М., Наука, 1967
6. Владимирский Б.М. //Космическая биология и медицина Т.1, М. Наука, 1984, 15-24.
7. Иванов К.П. Биоэнергетика и температурный гомеостазис. Л., Наука, 1972
8. Кальвин М. Химическая эволюция М, Мир, 1971
9. Клотц И. Энергетика биохимических реакций. М., Мир, 1970.
10. Лесков С. // "Известия", № 130 (25568), 21.07.2001.
11. Маров М.Я. // Космическая биология и медицина, Т. 1, М., Наука, 1994, 168 - 246
12. Оуэн Т. // Космическая биология и медицина, Т.1, М., Наука, 1994, 247- 279
13. Раммел Дж.Д. // Космическая биология и медицина. Т.1, М., Наука, 1994, 308 - 364.
14. Скулачев В.П. Аккумуляция энергии в клетке. М., Наука, 1969.
15. Таирбеков М.Г. // Авиакосмич.и экологич. мед. 2002, №4, с. 3-14
16. Таирбеков М.Г., Климовицкий В.Я., Оганов В.С. // Изв. РАН. (сер. биол.)1997, № 5, 517
17. Уотсон. Дж. Двойная спираль. М., Мир, 1969,
18. Хаскин В.В. Энергетика теплообразования и адаптация к холоду. Н. Наука, 1975.
19. Шкловский И.С. Вселенная, жизнь, разум. М., Наука, 1987,.
20. Шноль С.Э. Физико-химические факторы эволюции. М., Наука, 1979,
21. Abyzov S, Mitskevich IN, Poglazova MN, et al. //Life Sci. in Space Res. 23; (2) 371-376 1999
22. Baglioni P., Demets R., Verda A. // ESA Bulletin , 2000, 101, p.96-107
23. Brack A.// Planetary and space science. 1996, 44: (11) 1435-1440
24. Brack A. //Planetary and Space Science, 2000, 48, (11), 1023 - 1026,
25. Cabrol N.A, Grin E.A //Planetary and Space Science, 149: (2) 291-328 Feb 2001
26. Cellini L, Robuffo I, Maraldi N.M //Jor. applied microbiology. 2001, 90: (5) 727-732
27. Clark B.C. // Origin of life and evolution of biosphere. 2001, 31: (1-2) 185-197
28. Cockell CSV/ Planetary and Space Science, 1999, 47:(12) 1487-1501
29. Cockell C.S, Catling D.C, Davis W.L, et al. // ICARUS, 2000, 146: (2) 343-359
30. Ehrenfreund P, Charnley S.B. // Ann. Rev. Astronomy & Astrophysics, 2000, 38, 427,2000
31. Eguchi K. Apoptosis in autoimmune diseases // Internal. Medicine, 2001, 40: (4) 275-284
32. Fields P.A. //Compar. Biochem.& Physiol., 2001,129: (2-3), 417-431
33. Fonda M., Jenniskens P., Wilson M. et al. // Moon and Planets, 2000, 82-3: 57-70
34. Fukuda H. // Plant molecular biology, 2000, 44: (3) 245-253
35. Hargitai B, Szabo V, Hajdu J, et al. // Pediatrics Research, 2001, 50: (1) 110-114
36. Horneck G. //Planetary and Space Science, 2000, 48: (11) 1021-1021
37. Horneck G. // Adv. Sci. in Space Research, 1999, 23: (2) 381-386
38. Horneck G, Reitz G, Rettberg P et al. // Planetary and Space Science, 2000, 48 (5), 507-513
39. Horneck G, Stoffler D, Eschweiler U. // ICARUS, 2001,149: (1) 285-290
40. Kockeell C.S., Catling D.C, Davis D. et al. //ICARUS, 2000, 146: (2) 343-359
41. Kuleshova L., Shaw J. // Human Reproduction. 2000, 15: (12) 2604 - 2609
42. Lineweaver C. // ICARUS, 2001, 151: (2) 307-313
43. Ludwig A, Tenhaken R //Plant Molecular Biology, 2000, 44: (2) 209-218
44. Margulis L.// In: Life and its environment on the early Earth, San Francisco, 1981,.
45. Martin G.M. // Hospital Practice, 1997, 32: (2) 47-67.
46. Pierpaoli W, Bulian D //Journal of anti-aging medicine, 2001, 4: (1) 31-37
47. Pinton P, Ferrari D, Di Virgilio F, et al. // Drug Development Research,2001, 52: (4) 558-570
48. Prigogine I. //In "Theoretical physics and biology" North-Holland publ.Co., 1964, 23-63.

49. Semsei I. // *Mechanisms of Aging and Develop.*, 2000, 117: 93-108
50. Soffen G.A. // *Adv. In Space Res.*, 1999, 23: (2) 283-288
51. Wolfe J, Bryant G. // *Inter Jour.Refrigeration-Revue International, Froid.*,2001, 24:(5) 438-450
52. Woolf N., Angel J.R. // *Ann. Rev. of Astronomy and Astrophysics*, 1998, 36: 507-537

Литература

1. Аксенов СИ. Отчет-1995. Экзобиология. МГУ - ИМБП, 90 - 110
2. Александров В.Я. Клетки, макромолекулы и температура. Л., Наука, 1975, 250 с
3. Биллингем Дж., Тартер Дж. Поиск внеземных цивилизаций. Космич. биол. и медицина. Т.1.М.. Наука, 1994. 392 - 434
4. Блюменфельд Л.А. Проблемы биологической физики. М., Наука. 1977. 336с.
5. Вернадский В.И. Биосфера. М., Наука. 1967
6. Владимирский Б.М. Солнце как источник электромагнитного и корпускулярного излучений. Электромагнитные поля в биосфере Т.1, М. Наука, 1984. 15-24.
7. Иванов К.П. Биоэнергетика и температурный гомеостазис. Л., Наука. 1972, 172 с
8. Кальвин М. Химическая эволюция М, Мир. 1971, 240
9. Клотц И. Энергетика биохимических реакций. М., Мир, 1970.
10. Лесков С. Климатические катализмы приведут к глобальному потеплению. "Известия". № 130(25568). 21.07.2001.
11. Маров М.Я. Внутренние планеты Солнечной системы. Космич. биол. и медицина. Т. 1.М.. Наука. 1994. 168 - 246
12. Оуэн Т. Внешние планеты Солнечной системы. Космич. биол. и медицина. Т.1.М., Наука. 1994, 247- 279
13. Раммел Дж.Д. Экзобиология. Космич. биол. и медицина. Т. 1. М.. Наука, 1994,308-364.
14. Скулачев В.П. Аккумуляция энергии в клетке. М., Наука, 1969, 440 с.
15. Таирбеков М.Г. Эволюция взаимодействия живых систем с окружающей средой. Авиакосмич. И экологич. Мед. 2002, №4. с. 3-17
16. Таирбеков М.Г.. Климовицкий В.Я.. Оганов В.С. Роль силы тяжести в эволюции живых систем (биомеханические и энергетические аспекты) Известия АН. Серия биологич. 1997. № 5, 517-530.
17. Уотсон. Дж. Двойная спираль. М., Мир. 1969. 130 с.
18. Хаскин В.В. Энергетика теплообразования и адаптация к холоду. Новосибирск, Наука, 1975, 136 с.
19. Шкловский И.С. Вселенная, жизнь, разум. М., Наука, 1987, 320 с.
20. Шноль С.Э. Физико-химические факторы эволюции. М., Наука. 1979. 262 с
21. Abyzov S, Mitskevich IN, Poglazova MN, Barkov N1, Lipenkov VY, Bobin NE, Kudryashov BB, Pashkevich VM Antarctic ice sheet as an object for methodological problems of exobiology. Life Sciences: Exobiology advances in Space Research. 23: (2) 371-376 1999
22. Baglioni P., Demets R., Verda A. ESA payloads and experiment on the Foton -12 mission, ESA Bulletin 101 , 2000, p.96-107 Across, 149: (2) 291-328 Feb 2001
23. Brack A. Why exobiology on Mars? Planetary and space science. 44: (1 1) 1435-1440 Nov 1996
24. Brack A. The exobiology exploration of Mars, a survey of the European approaches. Planetary and Space Science, 48, (11), 1023 - 1026, Sep 2000 82-3: 57-70 2000
25. Cabrol N.A, Grin EA The evolution of lacustrine environments on Mars: Is Mars only hydrologically dormant? Across, 149: (2) 291-328 Feb 2001
26. Cellini L, Robuffo I, Maraldi NM, Donelli G Searching the point of no return in *Helicobacter pylori* life: necrosis and/or programmed death? Journal of applied microbiology. 90: (5) 727-732 May 2001
27. Clark BC Planetary interchange of bioactive material: Probability factors and implications. Origin of life and evolution of biosphere. 31: (1-2) 185-197 Feb-Apr 2001
28. Cockell CS Life on venus. Planetary and Space Science, 47: (12) 1487-1501 DEC 1999 48: (5)507-513 APR 2000
29. Cockell CS, Catling DC, Davis WL, Snook K, Kepner RL, Lee P, McKay CP The ultraviolet environment of Mars: Biological implications past, present, and future. Icarus, 146: (2) 343-359 AUG 2000

30. Ehrenfreund P, Charnley SB Organic molecules in the interstellar medium, comets, and meteorites: A voyage from dark clouds to the early earth. *Annual review of astronomy and astrophysics*. 38: 427- + 2000
31. Eguchi K. Apoptosis in autoimmune diseases *Internal Medicine* 40: (4) 275-284 Apr 2001
32. Fields PA Review: Protein function at thermal extremes: balancing stability and flexibility. *Comparative Biochemistry and Physiology a-molecular and integrative Physiology*, 129: (2 - 3), 417 - 431 Jun 2001
33. Fonda M., Jenniskens P., Wilson M.A., Packan D., Laux CO., Kruger C.H., Boyd I.D., Popova O.P. Meteors: A delivery mechanism of organic matter to the early Earth. *Earth, Moon and Planets*, 82-3: 57-70 2000
34. Fukuda H. Programmed cell death of tracheary elements as a paradigm in plants. *Plant Molecular Biology* 44: (3) 245-253 OCT 2000
35. Hargitai B, Szabo V, Hajdu J, Harmath A, Pataki M, Farid P, Papp Z, Szende Apoptosis in various organs of preterm infants: Histopathologic study of lung, kidney, liver, and brain of ventilated infants. *Pediatrics research* 50: (1) 110-114 Jul 2001
36. Horneck G. Special issue: Exobiology in the solar system - Preface. *Planetary and Space Science*. 48: (11) 1021-1021 Sep 2000
37. Horneck G. European activities in exobiology in earth orbit: Results and perspectives. *Life Sciences E[obiology, Advances in Space Research*, 23: (2) 381-386 1999
38. Horneck G, Reitz G, Rettberg P, Schuber M, Kochan H, Mohlmann D, Richter L, Seidlitz H A ground-based program for exobiological experiments on the International Space Station. *Planetary and Space Science* 48: (5)507-513 APR 2000
39. Horneck G, Stoffler D, Eschweiler U, Hornemann U Bacterial spores survive simulated meteorite impact *ICARUS*, 149: (1) 285-290 JAN 2001
40. Kockeell C.S., Catling D . C , Davis W.L., Snook K., Kepner R.L., Lee P., McKay C.P., The ultraviolet environment of Mars: Biological implications past, present, and future. *Icarus*, 146: (2) 343-359 Aug 2000
41. Kuleshova L.L., Shaw J.M. A strategy for rapid cooling of mouse embryos within a double straw to eliminate the risk of contamination during storage in liquid nitrogen. *Human Reproduction* 15: (12) 2604 - 2609 Dec 2000
42. Lineweaver CH An estimate of the age distribution of terrestrial planets in the universe: Quantifying metallicity as a selection effect. *Icarus*, 151: (2) 307-313 Jun 2001
43. Ludwig A, Tenhaken R Defence gene expression in soybean is linked to the status of the cell death program. *Plant Molecular Biology* 44: (2) 209-218 Sep 2000
44. Margulis L. Symbiosis in cell evolution. In: *Life and its environment on the early Earth*. San Francisco/Freeman Co, 1981, 381p.
45. Martin G.M. The genetics of aging. *Hospital Practice*. 32: (2)47-&FEB 15 1997 .
46. Pierpaoli W, Bulian D The pineal aging and death program. I. Grafting of old pineals in young mice accelerates their aging *Journal of anti-aging medicine* 4: (1) 31-37 SPR 2001
47. Pinton P, Ferrari D, Di Virgilio F, Pozzan T, Rizzuto R Molecular machinery and signaling events in apoptosis. *Drug Development Research* 52: (4) 558-570 APR 2001
48. Prigogine J. Structure, dissipation and life", In "Theoretical physics and biology" North-Holland publ.Co., 1964, 23 p.
49. Semsei I. On the nature of aging. *Mechanisms of Aging and Development* 117: (1-3)93-108 Aug 15 2000
50. Soffen G.A. Astrobiology. *Adv. In Space Res.* 23: (2) 283-288 1999
51. Wolfe J, Bryant G. Cellular cryobiology: thermodynamic and mechanical effects. *International Journal of Refrigeration-Revue Internationale du Froid*. 24:(5) 438 - 450 Aug 2001
52. Woolf N., Angel J.R. Astronomical searches for earth-like planets and signs of life. *Ann. Rev. of Astronomy And Astrophysics*, 36: 507-537 1998

