

Происхождение жизни на Земле

Учение о биосфере

Д.Ю. Шишкина

Тема 15

Общая стратиграфическая и геохронологическая шкала (1)

Эра	Период	Эпоха	Длительность, млн лет	Абс. возраст начала, млн лет
Кайнозойская	Четвертичный	Голоцен Плейстоцен	2	2
	Неогеновый	Плиоцен Миоцен	23	25
	Палеогеновый	Олигоцен Эоцен Палеоцен	41	66
Мезозойская	Меловой		66	132
	Юрский		53	185
	Триасовый		50	235

Общая стратиграфическая и геохронологическая шкала (2)

Эра	Период	Эпоха	Длительность, млн лет	Абс. возраст начала, млн лет
Палеозойская	Пермский		45	280
	Каменноугольный		65	345
	Девонский		55	400
	Силурийский		35	435
	Ордовикский		55	490
	Кембрийский		80	570
Протерозойская			2030	2600
Архейская			900	>3500

Диссимметрия и хиральность

Французский химик Луи Пастер в 1847 г. открыл наличие в живом веществе молекул с левой и правой оптической активностью. Он также установил, что равного количества левых и правых форм молекул в одном биологическом веществе быть не может.

Диссимметрия – наличие в одном веществе двух форм молекул в неравных количествах.

Молекулы, в которых имеется асимметрический центр, например, атом углерода, связанный с четырьмя разными соседями, могут существовать в виде двух зеркально-антиподных, «диссимметричных», как их назвал Пастер, конфигурациях, схожих и вместе с тем отличных друг от друга, как левая и правая ладони.

Это правые и левые оптические изомеры, характерное свойство которых – **оптическая активность**, способность вращать (соответственно влево или вправо) плоскости поляризации падающего на них света. Свойство зеркальной асимметрии, т. е. несовместимость в пространстве предмета и его зеркального отображения, получило название **хиральности** (греч. *hiros*– рука).

Хиральная чистота - отличие живого от неживого

При искусственном синтезе органических соединений в обычных лабораторных условиях получают равные количества левых и правых молекул. Эти смеси оптических изомеров в равных количествах оптически неактивны.

Белки состоят только из левых аминокислот, т.е. асимметричных молекул, которые вращают поляризацию проходящего через них света влево, а нуклеиновые кислоты состоят из правовращающих сахаров. Это свойство, называемое **хиральной чистотой**, считается одной из фундаментальных характеристик живого.

Абиогенные органические соединения оптически неактивны, биогенные – активны.

Современные свидетельства существования организмов геологического прошлого

Морфологические и геохимические.

1. Морфологические:

- a) остатки естественной мумификации,
- b) окаменелости,
- c) отпечатки.

a) При естественной мумификации организм сохраняется наиболее полно. Однако естественные мумии образуются редко, преимущественно при замерзании трупов животных в условиях вечной мерзлоты.

b) **Окаменелостями** чаще всего оказываются твердые части тела – раковины моллюсков, скелеты губок и кораллов, кости позвоночных животных. Другие части тела животных также подвергаются процессу окаменения (**фоссилизации**). При этом различные минеральные вещества, находящиеся в природных водах в растворенном состоянии, проникают в тело погибшего организма и замещают его ткани. Фоссилизация микроорганизмов происходит лишь тогда, когда их остатки захороняются и консервируются в исключительно тонкозернистых осадках либо коллоидных отложениях кремнезема.

c) **Отпечатки** представляют собой окаменелые признаки формы организма, которые зафиксировали свою тонкую форму на поверхности тонкозернистого осадка. Отпечатываются мягкие ткани растений и животных, в частности, медузы.

Строматолиты



Организмы криптозоя не имели твердого скелета и представлены преимущественно микрофоссилиями или их постройками, например, **строматолитами**.

В морфологическом отношении строматолиты оказываются наиболее древними проявлениями жизни. Они представляют собой шаровидные и полушаровидные образования со сложной слоистостью и состоят преимущественно из карбоната кальция.

Все строматолиты – мелководные образования и связаны с условиями осадконакопления. Строителями их были сине-зеленые водоросли и бактерии.

Древнейшие строматолиты найдены в разрезе докембрия Западной Австралии в формации **Варравуна**, возраст которой **3,5 млрд лет**.

Морфологические признаки

В черных сланцах Западной Австралии возрастом 3,5 миллиарда лет сохранились остатки самых древних организмов, когда-либо обнаруженных на Земле. Древнейшие окаменелости обнаружил в 1993 году американский палеобиолог Уильям Шопф. Вулканические и осадочные породы комплекса Пилбара, что к западу от Большой песчаной пустыни в Австралии — одни из самых старых пород на Земле.

Всего обнаружено 11 видов окаменелостей, относящихся к прокариотам. Из них 6, по мнению ученого, — это цианобактерии, или синезеленые водоросли. Шопф насчитал шесть признаков, по которым объекты в черных сланцах следует считать живыми:

1. ископаемые сложены органической материей;
2. у них сложное строение — волоконца состоят из клеток разной формы: цилиндров, коробочек, дисков;
3. объектов много - всего 200 ископаемых включают в себя 1900 клеток ;
4. объекты похожи друг на друга, как современные представители одной популяции;
5. это были организмы, хорошо приспособленные к условиям ранней Земли. Они обитали на дне моря, защищенные от ультрафиолета толстым слоем воды и слизи;
6. объекты размножались как современные бактерии, о чем говорят находки клеток в стадии деления.

Обнаружение столь древних цианобактерий означает, что почти 3,5 миллиарда лет назад существовали организмы, которые потребляли углекислый газ и производили кислород, умели скрываться от солнечной радиации и восстанавливаться после ранений, как это делают современные виды. Биосфера уже начала складываться.

Геохимические следы существования древних организмов

(1)

Остаются в виде органических соединений в осадочных горных породах. Эти соединения широко распространены во многих осадочных толщах. В составе органического вещества земной коры обнаружены углеводороды, углеводы, жиры и аминокислоты. В основном они имеют растительное происхождение и возникли из мелких растительных организмов, ранее слагавших планктон древних водоемов. В отложениях раннего докембрия обнаружен углерод биогенного фотосинтетического происхождения. Следы жизнедеятельности фотосинтезирующих организмов в виде органических соединений обнаружены в филлитовых сланцах системы **Онвервахт** в Южной Африке, возраст которой **3,44 млрд лет**.

Наиболее древним геологическим образованием является комплекс **Исуа** (Западная Гренландия), возраст которого не менее 3,8 млрд лет. Возраст относится к событиям метаморфизма и магматической деятельности в данном районе. Осадкообразование комплекса началось еще ранее, не менее **4 млрд лет** назад. В горных породах обнаружены явные следы геохимического характера, указывающие на существование жизни в то далекое время:

1. изотопный состав углерода,
2. наличие окисленного железа,
3. наличие некоторых органических соединений в графитовых включениях.

Геохимические следы существования древних организмов (2)

1, 3. В графитовых включениях древних пород обнаружены бензино- и нафтенopodobные соединения при изотопном отношении $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$, равном углероду – продукту фотосинтеза.

2. Фотосинтез с выделением свободного кислорода повлиял на химический состав некоторых пород в разрезе Исуа. В нем установлены полосчатые железистые кварциты, относящиеся к окисным фациям железорудных формаций. Эти фации дополнительно свидетельствуют о присутствии фотосинтезирующих автотрофных организмов, производящих свободный кислород. Это могли быть сине-зеленые водоросли или их предки.

Таким образом, начало жизни отодвигается дальше в глубину геологического времени за пределы даты 4 млрд лет назад. 4 млрд лет можно принять в качестве возраста фотоавтотрофной биосферы. Автотрофному питанию должен был предшествовать гетеротрофный как более простой. Но для образования фотосинтезирующих организмов должен был совершиться процесс длительной эволюции.

В 2008 г. ученые из Австралии заявили, что кристаллы циркона, найденные в массиве **Джек-хиллс** на западе Австралии, содержат вкрапления самых древних на Земле алмазов. Избыток ^{12}C в циркониевых кристаллах из Джек-хиллс указывает на их органическое происхождение. Возраст самых древних включений в эти кристаллы составляет **4,25 млрд лет**.

Образование органических веществ в Солнечной системе (1)

Образование основной массы сложных органических соединений как родоначальников жизни совершалось за пределами Земли в период, предшествующий её образованию. Большая часть молекул, обнаруженных в межзвездных облаках, относится к простейшим соединениям углерода, включая такую важную для жизни молекулу как аминокислоту глицин.

Органические соединения обнаружены в метеоритах. Органическое вещество в метеоритах впервые обнаружил знаменитый шведский химик Берцелиус при анализе углистого хондритового метеорита Алаис в 1834 г. Большинство этих соединений соответствует универсальным звеньям обмена веществ в живых организмах: **аминокислотам, белковоподобным полимерам, моно- и полинуклеотидам, порфиринам.** Некоторые ученые допускали наличие живых организмов непосредственно в самих метеоритах. Однако во всех исследованных органических соединениях не обнаружено оптической активности, что свидетельствует об их абиогенном происхождении.

Образование органических веществ в Солнечной системе (2)

Данные по космохимии метеоритов и астероидов свидетельствуют о том, что образование органических веществ в Солнечной системе на ранних стадиях её развития было типичным и массовым явлением. На последних стадиях остывания солнечной туманности, когда основные тугоплавкие вещества уже конденсировались в виде пылевых частиц, происходили процессы формирования органических соединений. Эти процессы протекали при температуре ниже 500 К, когда совершались реакции между водородом, СО и простейшими соединениями азота. Даже в благоприятных термодинамических условиях такие процессы протекают медленно. Но они резко ускоряются в присутствии катализаторов, которыми могли быть магнетит (Fe_3O_4) и гидратированные силикаты, ранее возникшие в виде частиц.

Образовавшиеся в космических условиях органические вещества вошли в состав многих тел, но лишь на Земле реализовались возможности дальнейшей прогрессивной эволюции. Возникли саморегулирующиеся высокомолекулярные системы – непосредственные предки первых живых организмов. В метеоритах и их родоначальных телах химическая эволюция оказалась замороженной.

Органические вещества космического происхождения попали на рождающуюся Землю на последних стадиях её аккумуляции совместно с материалом типа углистых хондритов. В дальнейшем при радиоактивном нагреве первичной мантии выделились газы и пары, породившие атмосферу и гидросферу. При этом были вынесены и органические соединения, которые в дальнейшем изменились в сторону прогрессивной эволюции.



Безжизненные горы, камни и вода, огромная луна на небе и постоянная бомбардировка метеоритами - наиболее вероятный ландшафт Земли 4 млрд лет назад

Атмосфера была тонкой, и кометы активно бомбардировали Землю, в изобилии доставляя органику. Внеземное вещество оседало в мелких теплых водоемах, подогреваемых вулканами: на дне изливались лавы, росли острова, били горячие источники — фумаролы. Континенты в то время не были такими прочными и большими, как сейчас, они легко перемещались по земной коре, соединялись и распадалась.

Луна была ближе, Земля вращалась быстрее, дни были короче, приливные волны выше, а шторма суровее. Над всем этим простирались стального цвета небеса, затемненные пыльными бурями, тучами вулканического пепла и осколками пород, выбитыми ударами метеоритов.

А.И. Опарин



Научные основы абиогенеза, или происхождение живого из неживого, заложил русский биохимик А.И. Опарин. В 1924 году, будучи 30-летним ученым, Опарин опубликовал статью «Происхождение жизни», которая, по мнению его коллег, «содержала семена интеллектуальной революции».

Публикация книги Опарина на английском языке в 1938 году стала сенсацией и привлекла к проблеме жизни значительные интеллектуальные ресурсы Запада. В 1953 году С. Миллер, аспирант Университета Чикаго, провел успешный опыт по абиогенному синтезу. Он создал условия ранней Земли в лабораторной пробирке и в результате химической реакции получил набор аминокислот. Так теория Опарина начала получать экспериментальные подтверждения.

Гипотеза Опарина (1)

В 1924 г. А.И. Опариным, а позднее и Дж. Холдейном (1929) была сформулирована гипотеза, рассматривающая возникновение жизни как результат длительной эволюции углеродных соединений.

1. На восстановительную атмосферу воздействовали потоки энергии: коротковолновое ультрафиолетовое излучение, а также ионизирующее излучение Солнца, электрические разряды (грозы, коронные разряды), местные источники тепла вулканического происхождения.

2. В этих условиях мог идти активный химический синтез, в котором из атмосферных газов (метан, аммиак, сероводород) через такие промежуточные продукты как синильная кислота (HCN), этилен (C_2H_4), этан (C_2H_6), формальдегид (HCHO), мочевины ($(\text{NH}_2)_2\text{CO}$), образовывались сначала мономеры, а затем и простейшие полимеры. Поскольку окисления не происходило, воды океана обогащались такими соединениями, как аминокислоты, пуриновые основания, сахара, карбоновые кислоты, липиды, образуя т.н. «первичный бульон».

3. Образование биополимеров – т.н. протеиноидов (первичных белков), а также нуклеиновых кислот, между которыми начались взаимодействия. Подходящий протеиноид способствовал более быстрому и правильному размножению молекул нуклеиновой кислоты, а с другой стороны – нуклеиновая кислота начала кодировать преимущественно подходящие для неё белки. Так начался каталитический циклический процесс.

Гипотеза Опарина (2)

4. Высокомолекулярные органические соединения образуют коллоидные растворы, которые образуют сгустки – **коацерватные капли**, коацерваты, отделенные от окружающей воды тонкой пленкой. Коацерваты могут адсорбировать различные вещества, в них существует некоторая упорядоченность частиц. В коацерваты могут осмотически поступать из окружающей среды химические соединения, вызывая синтез новых соединений, и за счет этого коацерваты могут «расти». При сотрясении коацерваты могут дробиться, а вновь образовавшиеся капли сохраняют свойства исходного коацервата.

Предполагают, что обособленные системы молекул, способные взаимодействовать с внешней средой, ограниченные от окружения, являлись пробионтами – предшественниками настоящих клеточных организмов. Органические соединения они получали из «первичного бульона», так что им не нужны были ферменты.

5. Преимуществом пробионтов по мере обеднения органическими веществами «первичного бульона» стало обладание плазматической мембраной, защищающей от потери различных соединений путем диффузии, а также способность избирательно накапливать химические соединения. Давление естественного отбора стало благоприятствовать формам, способным к синтезу жизненно важных веществ. Устойчивость существования могла быть достигнута путем создания ферментных систем, контролирующих синтез тех или иных соединений. Наиболее важным было создание генетического кода, обеспечивающего воспроизведение себе подобных и наследование последующими поколениями свойств предыдущих.

Экспериментальное подтверждение гипотезы Опарина

Для синтеза живого из неживого на начальном этапе в атмосфере и водоемах планеты должны присутствовать простые органические и неорганические соединения: C, C₂, C₃, CH, CN, CO, CS, HCN, CH₃CH, NH, O, OH, H₂O, S.

Стэнли Миллер в опытах по абиогенному синтезу смешал водород, метан, аммиак и водяные пары, потом пропускал нагретую смесь через электрические разряды и охлаждал. Через неделю в колбе образовалась коричневая жидкость, содержащая семь аминокислот, и в том числе глицин, аланин и аспарагиновую кислоту, входящие в состав клеточных белков.

Эксперимент Миллера показал, как могла образоваться предбиологическая органика – вещества, которые участвуют в синтезе более сложных компонентов клетки.

Проблема: абиогенный синтез аминокислот идет только в восстановительных условиях, поэтому предполагается метаново-аммиачный состав атмосферы ранней Земли. Но, вполне возможно, она имела другой состав.

Недостатки концепции абиогенеза

1. Нет доказательств того, что на ранней Земле была восстановительная атмосфера. По данным геологов, в атмосфере Земли 4,5 миллиарда лет назад преобладали углекислый газ и азот, что в химическом отношении создает нейтральную среду.
2. Не объясняет, как именно мог произойти переход от органических молекул к простейшим организмам, а также как в этом бульоне могли появиться молекулы нуклеотидов – РНК и ДНК, которые ответственны за важнейшее свойство живых организмов — передачу наследственной информации.
3. Успешный синтез «живых» макромолекул ничего не решает. Для того, чтобы макромолекулы заработали, они должны быть организованы в клетку. Вероятность случайного возникновения аминокислотно-нуклеотидной последовательности, отвечающей живой клетке, невероятно мала. Ученые рассчитали, что молекула ДНК, участвующая в простейшем цикле кодирования белков, должна была состоять из 600 нуклеотидов в определенной последовательности. Вероятность случайного синтеза такой ДНК равна 10^{-400} , т.е. для этого потребуются 10^{400} попыток.
4. Полученные органические соединения не только не обладали активными функциями живого вещества, но оптической активностью.

Современные концепции возникновения жизни на Земле (1)

Новый подход к решению этой проблемы наметился лишь в последнее время в связи с развитием теории самоорганизующихся систем. **Самоорганизующаяся** система – обладающая способностью корректировать своё поведение на основе предшествующего опыта.

С позиции теории систем новая информация возникает в ней только тогда, когда происходит случайный выбор с последующим запоминанием его результатов. Один из основоположников кибернетики, Джон фон Нейман, решавший проблему самовоспроизведения автоматов, установил принципиальную возможность этого процесса.

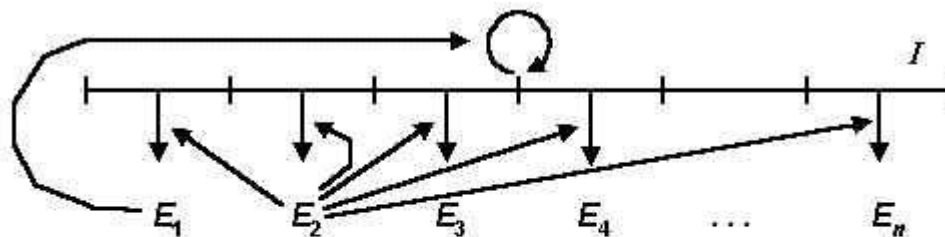
Способность к самовоспроизведению принципиально зависит от сложности организации. На низшем уровне сложность является вырождающейся, т.е. каждый автомат способен воспроизводить лишь менее сложные автоматы. Существует определенный критический уровень сложности, начиная с которого эта склонность к вырождению перестаёт быть всеобщей.

Современные концепции возникновения жизни на Земле (2). Сайзер

Биохимик Г. Кастлер проанализировал поведение системы органических кислот в рамках теории информации и пришел к выводу, что новая информация возникает в системе только в том случае, если в ней происходит случайный выбор с последующим запоминанием его результатов, а не целенаправленный отбор наилучшего варианта. Возможность возникновения новой информации определяется её свойствами, т.е. информация в отличие от материи и энергии может быть заново создана и безвозвратно утрачена.

Физико-химику Манфреду Эйгену удалось найти реальный класс химических реакций, компоненты которых вели себя подобно дарвиновским видам, т.е. обладали способностью «отбираться» и, соответственно, эволюционировать в сторону увеличения сложности организации. Именно такими свойствами обладают нелинейные автокаталитические цепи – гиперциклы.

В 1980 г. В.А. Ратнер и В.В. Шамин (Новосибирск) и Д.Уайт (Калифорния) предложили модель, которую называли сайзер (SYSER – сокращение от **SY**stem of **SE**lf-**R**eproduction).



Общая схема сайзера

I – полинуклеотидная матрица; E – ферменты (белки); круговая стрелка – процесс репликации; стрелки, направленные вертикально вниз – процессы трансляции; стрелки от ферментов E₁, E₂, ... E_n поясняют, что эти ферменты транслируют процессы трансляции и репликации