

## РАННЕЕ СОЛНЦЕ КАК ФАКТОР ПОДДЕРЖКИ И ОТБОРА ОПТИМАЛЬНЫХ ЭВОЛЮЦИОННЫХ РЕШЕНИЙ БИОСФЕРЫ

М.В. Рагульская

ИЗМИРАН

e-mail: 9229val@gmail.com

В настоящее время места поисков жизни (в её бактериальной форме) значительно расширились. Колыбелью жизни могут быть как молекулярные галактические облака и протопланетные диски, так и вулканы, и океаны Земли, Марса и малых планет – спутников планет гигантов, а также экзопланеты, находящиеся вне Солнечной системы. Изменилось понятие «зоны обитаемости». Теперь в неё не входит в качестве обязательного условия наличие жидкой воды на поверхности планеты. Изучение формирования звездных скоплений и планет, физических условий существования раннего Солнца и Земли, а также достижения астробиологии и палеонтологии привело к тому, что к настоящему моменту гипотезы возникновения жизни отличаются от тех, что были ещё 15-20 лет назад. Изложим некоторые из них.

Экспериментальный материал по химическому составу молекулярных облаков в межзвездном пространстве предполагает наличие активного добиологического синтеза сложных органических веществ в процессе формирования звездных и планетарных скоплений (рис.1). Ключевую роль в межзвёздной молекулярной химии играют ион-нейтральные (или ион-молекулярные) реакции, то есть реакции между ионизованным и нейтральным реагентами, а первичную ионизацию обеспечивают частицы космических лучей (Д.З. Вибе, [1]). В настоящее время количество известных межзвёздных и околозвёздных молекул приближается к 200 (без учёта изомеров и изотопомеров). Среди них встречаются как простые, так и довольно сложные соединения: самые большие идентифицированные молекулы состоят из 12 атомов ( $\text{CH}_3\text{OC}_2\text{H}_5$ ,  $\text{C}_3\text{H}_7\text{CN}$ ). В межзвёздной среде присутствуют и более сложные органические структуры — фуллерены, ароматические соединения. Список экспериментально зафиксированных межзвёздных и околозвездных молекул можно посмотреть на <http://astrochymist.org/>.

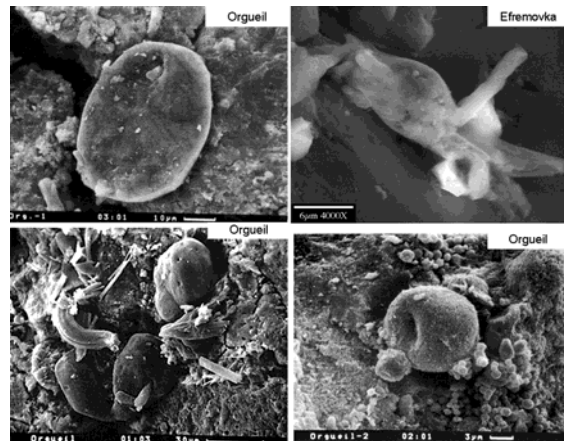


Рис. SPL/EAST NEWS

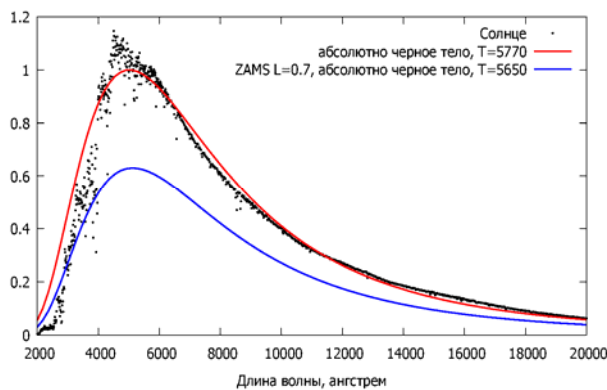
Эти данные позволяют не рассматривать в качестве непримиримо конкурентных гипотезу панспермии (занесения изначальных биологических структур из космоса на Землю) и гипотезу зарождения первичной жизни на Земле. Скорее всего эти гипотезы отражают разные этапы одного и того же процесса. Недавно Российско-итальянская группа ОИЯИ по радиационной биологии (г. Дубна) показала, что широко распространенные в космосе молекулы формамида ( $\text{NH}_2\text{COH}$ ) в присутствии мелко раздробленных фрагментов метеоритов и при облучении быстрыми протонами приводят к абиогенному образованию разнообразных аминокислот и др. важнейших биологических соединений даже не в космических, а в вполне лабораторных условиях. Аналогичные результаты получены при облучении УФ-излучением пиримидина ( $\text{C}_4\text{H}_4\text{N}_2$ ) замороженного в "грязный лед" с астрофизическим содержанием элементов.

Существуют численные модели, когда в процессе эволюции аккреционного протопланетного диска некоторые из этих "кирпичиков жизни" попадают туда, где могут

создаются условия подходящие для возникновения экосистем. Например, в рождающиеся астероиды, которым предстоит пережить фазу жидкого водяного ядра, и послужить переносчиками жизни в течение миллионов лет (например, модель «водного» астероида, В.В. Бусарев [1]). Следует допустить возможность и многократного «заноса» биовещества на раннюю Землю, а также многократного возникновения и разрушения различных собственно земных биологических структур. В качестве доказательства первой версии работает большое количество ископаемых остатков бактерий в метеоритном веществе с возрастом, сопоставимым с возрастом Солнечной системы. Окаменелости эукариот в метеоритах и их современные земные аналоги приведены на рис.2. На основании этих данных руководитель российской программы по астробиологии, ак. РАН А.Ю. Розанов предполагает возможность существования первичного мира РНК до 7 млрд. лет назад, т.е. уже за 2,5 млрд. лет до возникновения Земли [1]. Для справки: возраст Земли 4,5 млрд. лет, Солнца – 4,6 млрд. лет. Обзор экспериментальных данных по воздействию на микроорганизмы космического вакуума, радиации, УФ и других факторов приведен в [2]. В контакте с новой враждебной средой молодой Земли выжила одна первичная форма, возможно не самая удачная, но такая, как есть, с современным набором из 4 азотистых оснований (А, С, G, Т), из которых и состоит весь генный конструктор современной земной биосферы.



Что определило именно такой набор генов? Скорее всего – спектр и интенсивность излучения молодого Солнца (причем даже в большей степени, чем физические условия на ранней Земле). Молодое Солнце не имело упорядоченной динамики активности и привычного для нас 11-летнего цикла солнечной активности, его период обращения был



существенно меньше (3-8 дней вместо современных 27), а интенсивность спорадического излучения в рентгеновском и УФ-диапазоне на порядки превышало нынешнее. На рис.3 представлен спектральный состав излучения Солнца (точки) и абсолютно черного тела при эффективных температурах раннего и современного Солнца (С.В. Аюков [1]). Поскольку жизнь на Земле связана со сложными молекулами на основе углерода, то наиболее важными

являются оценки изменения излучения в диапазоне короче 350 А. В этом диапазоне находится мощная резонансная линия ионизованного гелия (He II) 304А, и многочисленные слабые линии высокоионизованных атомов, формирующиеся в солнечной короне. В настоящее время общее излучение в этом диапазоне меняется в течение 11-летнего цикла активности в 5 – 7 раз, а во время вспышек - на 2-3 порядка. Общее излучение молодого Солнца (возрастом 1 млрд. лет) в области 200 – 350 А было постоянно выше современного в 10 – 30 раз, а во время вспышек - до 1000 раз больше. Поэтому устойчивость биологических структур и сообществ к интенсивному спорадическому излучению молодого Солнца в рентгеновском и УФ-диапазоне являлась управляющим фактором направления эволюции формирующейся биосферы Земли.

Многие эволюционные вехи в развитии биосферы имеют не биологическую, а физическую природу (например, возникновение многоклеточных организмов, а также топологически «более плотно упакованных» скрученных форм белков позволяет биообъектам успешнее противостоять разрушительному внешнему излучению даже при разрушении части структуры). Формирующиеся биологические структуры и экологические системы должны были одновременно «уметь использовать» ультрафиолетовое излучение в качестве источника энергии, эффективно от него защищаться и проходить отбор на устойчивость к разрушительному воздействию излучения молодого Солнца. В результате существующие молекулы ДНК являются максимально устойчивыми структурами к УФ-излучению, хотя не являются единственно возможными.

Фактор наличия мощного солнечного УФ-излучения (при отсутствии защитной атмосферы современного типа) и потоки космических лучей, приходящие на молодую Землю без защиты современной магнитосферы и озоносферы, скорее всего определяли место и условия возникновения развитой земной биосферы. Благодаря мощному УФ-излучению раннего Солнца в формирующейся биосфере одновременно происходили разные типы отбора:

- отбор стойких к УФ-излучению азотистых оснований;
- отбор нуклеотидов в комплиментарные пары;
- отбор более длинных и устойчивых молекул РНК;
- отбор гомохиральных нуклеотидов (смесь изомеров менее устойчива к УФ-излучению, чем изомеры с одинаковой хиральностью).

Результатом отбора оптимальной системы сбора и хранения биологической информации, максимально устойчивой к ультрафиолетовому излучению молодого Солнца, стал единый генетический код всех живых организмов на Земле.

Удачная модель формирования первой земной биосферы в условиях активного молодого Солнца предложена А. Мулкиджаняном [4]. Модель «цинкового мира» рассматривает возникновение первых земных экологических сообществ в наземных геотермальных полях древней Земли, с использованием УФ-излучения в качестве

источника энергии, катализатора и фактора отбора первых биологических структур (рис. 4 из [3]).

В образовании биоструктур участвуют обогащенный вулканический пар (с соотношением калия и натрия, соответствующего цитоплазме современных клеток), геотермальная вода с хлоридами натрия и железа и пористые минеральные твердые осадки в качестве катализатора и основной матрицы; присутствуют также фосфор, азот, цинк, марганец, молибден и бор, а сульфид цинка

выполняет функцию защитной пленки от излишнего УФ-излучения древнего Солнца, что приводит к сосуществованию нескольких разных механизмов получения органических веществ из атмосферного углекислого газа и азота. Такой процесс позволяет создавать не отдельные биоэлементы, а целые экологические колонии первой земной биосферы в грязевых котлах древних вулканических геотермальных полей.

Также для земной жизни характерна еще одна особенность - избирательная гомохиральность. Это означает существование выделенного направления в биологических



молекулах, когда молекула никакими поворотами и перемещениями в пространстве не может быть совмещена со своим зеркальным отражением (как перчатки для левой и правой руки). Например, ДНК и РНК построены на углеводах с выделенным D-направлением вращения молекулы (так называемые D-углеводы, право-вращательные), а в состав белков входят практически исключительно L-аминокислоты (лево-вращательные). Рецепторы, ферменты, антитела и другие элементы организма также обладают хиральностью, и структурное несоответствие между этими элементами и хиральными молекулами препятствует их взаимодействию. Т.е. из двух химически идентичных сахаров, имеющих разную хиральность, только один будет усваиваться организмом. Правила химии и биологии не запрещают существования где-то во Вселенной жизни с другой хиральностью, построенной, как и наша на углероде, но например с L-углеводами в ДНК. Однако на Земле такая форма даже если когда-то и была занесена или пыталась развиваться самостоятельно, то не выжила в жестокой конкурентной борьбе первичной жизни. Причина возникновения гомохиральности жизни на Земле до сих пор не выяснена. Возможен сценарий, когда протопланетный диск, из которого сформировалась Солнечная система, должен был испытать при формировании сильное облучение излучением сверхновой звезды с круговой поляризацией. Подвергнутый такому облучению рацемический набор молекул протопланетного диска приобретает небольшую преимущественную хиральность. Последующие химические реакции в условиях активного облучения органических изомеров УФ-излучением молодого Солнца могут её усилить, причем и в условиях протопланетного диска, и на поверхности, что приведет к преимущественному отбору гомохиральных компонент.

Таким образом, устойчивость биологических структур и сообществ к интенсивному спорадическому излучению молодого Солнца в рентгеновском и УФ-диапазоне являлась одним из управляющих факторов, определившим направление эволюции формирующейся биосферы Земли. Современное Солнце стало более спокойным и упорядоченным, появились защитные оболочки Земли (атмосфера, озоносфера, магнитосфера, гидросфера), однако биологические организмы сохранили механизмы адаптации к солнечной активности и космофизическим факторам. Для выживания отдельному организму важно умение подстраиваться под краткосрочные изменения внешней среды, сопоставимые с его собственными временными масштабами (минуты, дни, годы). Для биосферы в целом важно сохранение программ защиты и подстройки на длительных временных масштабах: 1. К сильному УФ-излучению, рентгену и солнечным космическим лучам во время периодов повышения или понижения солнечной активности (характерное время - несколько раз за тысячелетие); 2. К инверсиям магнитного поля Земли (характерное время – несколько раз за миллион лет). Также требуется сохранение программ адаптации к повышению уровня галактических космических лучей при прохождении Солнечной системой плотных рукавов Галактики (несколько раз за миллиард лет). Более подробно вопрос о формировании Солнечной системы, параметрах молодого Солнца, физических условиях на ранней Земле и развитии жизни рассмотрен в [1-4].

#### Литература

1. «Жизнь и Вселенная» (под редакцией В.Н. Обридко и М.В. Рагульской) – Спб, Из-во ВВМ, 2017. <http://www.izmiran.ru/pub/izmiran/Life-n-Universe.pdf>
2. Space Microbiology // MICROBIOLOGY AND MOLECULAR BIOLOGY REVIEWS, 2010, p. 121–156.
3. М. Никитин. Происхождение жизни: от туманности до клетки. Из-во АНФ, 2016.
4. Mulkidjan A. Y., Galperin M. Y. Biology direct, 2009, v.4, p.27.