

---

Издаётся Международной общественной организацией “Астрономическое общество”  
и Государственным астрономическим институтом имени П.К. Штернберга МГУ

---

№ 1659, 2023 July 14

---

### Происхождение жизни: астрономические аспекты

М.В. Рагульская<sup>1</sup>, В.Н. Снытников<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Институт земного магнетизма и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН*

*E-mail: ra\_mary@mail.ru*

<sup>2</sup> *Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН*

Поступила в редакцию 22 мая, с исправлениями 13 июля 2023 г.

**Резюме.** В кратком обзоре рассматриваются астрофизические и астрохимические возможности развития начальных этапов происхождения жизни в космическом пространстве. Обсуждается возможность формирования внеземной пред-жизни из органики молекулярных галактических облаков, развитие мира РНК и первичных биосфер в аккреционном диске планетных систем и дальнейший их перенос на сформировавшиеся твердые планеты. Обсуждается, что гипотезы панспермии и происхождения жизни в океанах ранней Земли скорее всего не являются конкурентами, а описывают разные фазы одного процесса.

Открытие большого количества экзопланет подстегнуло рассмотрение возможных механизмов возникновения, выживания и развития жизни вне привычных земных условий. Еще 15–20 лет назад основные астробиологические исследования лежали в области изучения бактерий-экстремофилов и разработке гипотез происхождения жизни в приповерхностном водном слое или вблизи океанических вулканов. Однако сейчас все большее количество работ посвящено обсуждению технологий сборки возможной внеземной пред-жизни из органики молекулярных галактических облаков, формирования и развития мира РНК и первичных биосфер в аккреционном диске планетных систем с дальнейшим их переносом на сформировавшиеся твердые планеты. При этом в качестве возможной химической базы для экстремальной жизни рассматривается не только углерод и вода, но и, например, азот и флюид углекислого газа (при развитии жизни в условиях сверхвысоких давлений). И это не абстрактные построения. Так, при зафиксированных высоких давлениях, условия на поверхности Венеры термодинамически более выгодны для каталитического связывания азота и углекислого газа, чем углерода и кислорода [1]. Яркие примеры перспективных астробиологических направлений были представлены на 4-й Всероссийской конференции по Астробиологии «Геологические, биологические и биогеохимические процессы в решении астробиологических задач» в Пущино в феврале 2023 года, [2].

Вне зависимости от вопроса о месте и времени происхождения жизни, основная схема ее формирования и развития в настоящее время представляется следующей (рис. 1):

Несмотря на логичность, в этой схеме есть принципиальное противоречие, требующее отдельного рассмотрения. Дело в том, что устойчивое функционирование мира РНК и мира белков происходит при температурах, различающихся между собой больше, чем на 100°. Академик А.С. Спиринов назвал невозможность одновременного существования мира РНК и клеточной формы жизни в геологическом прошлом Земли



Рисунок 1: Основная последовательность формирования и развития жизни

«геологическим парадоксом происхождения жизни» [3]. Он же предложил для решения этого противоречия перенести возможное место возникновения земной биосферы с поверхности Земли в ее атмосферу, и обсудил, почему таким переносом до конца снять противоречия не удастся. Был сделан вывод о невозможности возникновения и эволюции мира РНК в клеточные формы в рамках условий ранней Земли. Естественным продолжением идей стала гипотеза о «поднятии» места возникновения жизни еще выше, в космос. И предположение о развитии двух последовательных биосфер — космического мира РНК и мира клеточных белковых структур, с последующим распространением в космосе именно клеточной формы жизни (в основном — с помощью комет) как более устойчивой к внешним условиям структуры по сравнению со свободной РНК [4]. При попадании в твердые фазы сформировавшихся планет первичная космическая биосфе-

ра пережила депрессивную фазу практически полного вымирания. Но выжившая ее часть, закрепившаяся и приспособившаяся к сложным условиям ранней Земли, дала начало привычной для нас земной биосфере.

Есть и еще одна существенная проблема в вопросе о происхождении земной биосферы, так называемый «парадокс массы»: если взять даже самые интенсивные каталитические химические процессы, посчитать, сколько итераций нужно сделать, чтобы из неживого вещества произвести живое, посчитать выход продукта, который будет в каждой из этих итераций (даже с применением самых эффективных катализаторов), то получится, что для возникновения даже не современного состояния жизни, а хотя бы небольшого количества биомассы не хватит всей массы Земли, чтобы получить первоначальную биосферу. Количество изначального вещества должно превышать массу Земли минимум на два порядка. Из этого следует вывод: для химических процессов происхождения жизни, для встраивания этой цепочки химического производства, объемы, в которых это должно было происходить, должны были существенно превышать по массе, протяженности и, возможно, по временам то, что могут предоставить возможности Земли. И с этой точки зрения происхождение жизни также логично было бы перенести в космос [2, стр. 10, Снытников В. Н.]. Благодаря новым открытиям в области органической химии туманностей и протопланетных облаков такая концепция представляется логичной [5]. Автор [6] предполагает, что на этапе «астрокатализа» протопланетный диск можно рассматривать как «космический химический реактор», в котором образуются огромные сгустки из водорода и гелия вместе с агрегатами сконденсированного вещества, размерами в несколько солнечных диаметров. Согласно теории астрокаталитического происхождения жизни [6], около звезды примерно миллион лет действует проточный химический реактор с вращающимся кипящим слоем катализаторов, которые формируются из нанометровых частиц пыли исходного молекулярного облака. В неустойчивом состоянии флуктуации в системе усиливаются с появлением широкого спектра новых состояний. На телах-катализаторах собираются вода и органические вещества. О том, что такие процессы могут происходить, например, в ядрах комет, упоминалось еще в 70–80-х годах прошлого века [7–9]. В дальнейшем, на поверхности тел, из органики происходят синтезы «Мира РНК» с формированием молекулярных колоний. Столкновения тел и постоянно изменяющиеся условия приводят к обмену продуктами синтезов между телами-носителями, и к распространению наиболее устойчивых молекулярных колоний по пространству протопланетного диска. Выметание из диска водорода с гелием (и сопутствующее падение давления в среде) повела «Мир РНК» к разрушению. Но этот же процесс (потеря диском газовой атмосферы и увеличение доли воды) отобрал среди всех молекулярных колоний те, которые смогли сформировать защитную от воды оболочку — мембрану. Это привело в дальнейшем к формированию отдельных разнообразных организмов (клеток). Среди множества организмов устойчивыми к воздействию изменяющейся космической среды оказались сообщества тех, которые взаимно дополняли друг друга как продуценты и редуторы на первичных телах и планетезималях. На первичных телах диска, поверхность которых смочена водой, возникла «допланетная биосфера» в виде биопленок. Можно предположить, что это и есть главный этап возникновения жизни в Солнечной системе.

Но все эти соображения так бы и остались абстрактными рассуждениями, если бы не существенные технические прорывы в астрономических спектроскопических исследованиях. Существенным толчком к возрождению идеи о возможном зарождении

жизни вне Земли послужило открытие астрономами наличия большого количества сложной и разнообразной органики в молекулярных галактических облаках [10, 11]. По-видимому, именно там осуществляется масштабный абиогенный синтез органических соединений. Обновляемый список экспериментально зафиксированных межзвездных и околозвездных молекул приведен на специализированном астрохимическом сайте <http://astrochymist.org/>. Эксперименты в ОИЯИ в Дубне, показали, что методами современной радиационной химии, действительно, можно получить сложную органику [2, стр. 17, Капралов М.И.]. Например, биогенный синтез сахаров, нуклеиновых оснований и нуклеозидов из формамида. С 2014 г. по настоящее время проводится серия экспериментов по синтезу пребиотических соединений из формамида ( $\text{CH}_3\text{NO}$ ) с использованием метеоритов в роли катализаторов и ионизирующего излучения (протоны, изотопы углерода). При облучении смеси «формамид+метеоритное вещество» были получены представители многих классов молекул (аминокислоты, карбоновые кислоты, нуклеиновые кислоты, сахара и др.), в том числе все 5 нуклеиновых оснований, рибозу, дезоксирибозу и нуклеозиды, входящие в состав РНК и ДНК. Далее в аналогичных условиях, при добавлении чистых нуклеозидов и  $\text{NaN}_2\text{PO}_4$  в формамид были получены моно-, ди- (и т.д., до 11-мерных) фосфаты соответствующих нуклеозидов, т.е. нуклеотидные фрагменты.

Но необходимо отметить, что в этих экспериментах (как и во всех предыдущих экспериментах по абиогенному синтезу органики в условиях Земли), продукты реакции находятся в виде рацемата (равной смеси левых и правых изомеров). В живой природе биологические структуры имеют выраженную хиральность. Одна из убедительных гипотез ее происхождения также является космической, и рассматривает приобретение хиральности белками, РНК и ДНК за счет поляризованного излучения при вспышке сверхновой на самом раннем этапе формирования планетной системы [12].

В последние тридцать лет к проблеме изучения происхождения и развития жизни активно подключились и генетики. На первом этапе этой «генетической исследовательской революции» секвенирование генов РНК в тысячах микробов позволили построить древо жизни, состоящее из трех доменов — Eukarya, Bacteria и Archaea (основным кандидатом на первичную земную биосферу выступают Archaea) [13]. Также именно генетикам удалось подтвердить, что оптимальные температуры существования древних земных белков были выше  $+70^\circ\text{C}$  [14, 15], что внесло свой вклад в подтверждение гипотезы о последовательном существовании двух биосфер, протопланетной и планетарной. Также в результате генетических исследований выяснилось, что в биосфере ранней Земли присутствовал целый большой класс бактерий, чрезвычайно устойчивый к радиации, который не сохранился до наших дней [2, стр. 9, Щербакова В.А.]. Это показывает, что на раннем этапе становления биосферы Земли в ней присутствовали развитые биологические структуры, способные к выживанию в условиях радиации, сильно превышающей уровень около современных АЭС, и сопоставимой по интенсивности с радиационными условиями в формировании протопланетного диска. В дальнейшем эти развитые радиационно-устойчивые биосистемы исчезли из современной земной биосферы в связи с неостребованностью энергетически-затратных приспособительных функций из-за существенного снижения радиационного фона на поверхности нашей планеты.

При рассмотрении возможности происхождения жизни в космических условиях вопрос радиационной безопасности становится существенным. Проведенные эксперимен-

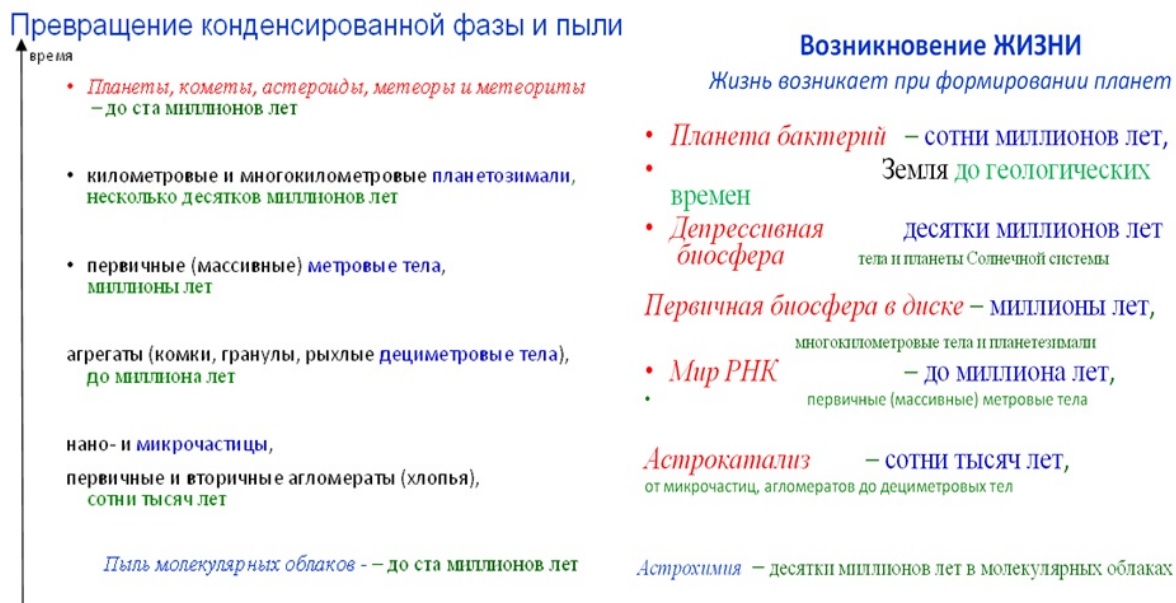


Рисунок 2: Этапы формирования планетных систем

ты по радиационной устойчивости свидетельствуют о возможности сохранения сложных органических молекул (пептидов с большой молекулярной массой) в течение длительного времени на различных космических объектах. Так, доза в 10 МГр во льдах спутников Юпитера накапливается за 100 и 10 000 лет на глубине 1 и 10 см соответственно, а на поверхности Марса — за 150 млн. лет. Подробнее возможность выживаемости земных бактерий в реголите Марса и в условиях спутников Юпитера и Сатурна рассмотрены в [2, стр. 35 и 40, Чепцов В.С.]. В настоящее время Марс и спутники Юпитера и Сатурна — Европа и Энцелад — считаются наиболее перспективными объектами с точки зрения поиска следов внеземной жизни в Солнечной системе [16–19]. На ледяных спутниках предполагается существование океанов под внешней ледовой оболочкой. При этом поверхность Европы представляет собой относительно «свежий» лед, который обновляется за счет подъема воды из океана по наблюдаемым трещинам в ледяном панцире, а на Энцеладе обнаружены водяные гейзеры, выбрасывающие в космос не только водяной пар, но и органические молекулы. Не менее активно обсуждаются вопросы радиационной безопасности возможного существования жизни на экзопланетах, в частности — вблизи Проксимы Центавра В [20, 21].

Таким образом, в настоящее время гипотеза о возникновении жизни в протопланетных облаках наиболее полно и непротиворечиво описывает рисунок 1, отвечая на вопрос не только о последовательности этапов, но и месте и длительности их протекания (рисунок 2). Появляющиеся новые данные из различных научных дисциплин (астрономия, минералогия, палеонтология, микробиология, генетика, радиационная безопасность) дополняют и усиливают гипотезу о происхождении жизни в множестве огромных космических автокаталитических анклавов, имеющих размеры, массы, и временные масштабы, сопоставимые с массой и размерами Солнечной системы. Возникновение и развитие биосферы Земли сопровождали такие мощные физические факторы, как галактические и солнечные космические лучи, а также протопланетного диска, а

в дальнейшем — магнитные поля Солнца и Земли [22]. Процессы возникновения жизни могли начинаться уже на этапе образования звездных скоплений из молекулярных облаков или в протопланетных облаках.

Данные по добиологическому синтезу органических веществ в молекулярных облаках позволяют не рассматривать в качестве конкурентов гипотезу занесения изначальных про-биологических структур из космоса на Землю и гипотезу зарождения первичной жизни на Земле. Скорее всего, гипотезы отражают разные этапы одного и того же процесса. Изначальный набор необходимой органической массы и отбор технологий запаса энергии происходил в допланетной истории, с активатором в виде космических лучей и магнитных полей протопланетного диска. Там создавались оптимальные условия для развития «мира РНК» и дальнейшего формирования мембран. Остатки этапа «допланетной биосферы» сегодня находят в метеоритах возраста формирования Солнечной системы [2, стр. 5, Розанов А. Ю.; 23], возможно они есть и на других телах нашей планетной системы. Переход от протопланетного облака к твердой планетной фазе скорее всего был чрезвычайно губителен для протопланетной биосферы. Уцелевшая мизерная ее часть начала новый этап развития на Земле, приспособившись к условиям нашей планеты, и формируя привычную для нас современную биосферу с единым генетическим кодом, максимально устойчивым к ультрафиолетовому излучению нашего Солнца.

Астрономы не могут решить за биологов, как именно происходило формирование жизни, но их исследования существенно расширяют знания о доступных для жизни условиях возможного ее происхождения и развития. Астробиологическая тематика и вопросы происхождения жизни востребованы обществом, они активно обсуждаются не только в специализированных научных статьях и лекциях, но и в целом ряде научно-популярных монографий, написанных профессиональными астрономами и биологами [24–33]. Каждый из авторов предлагает читателям свою точку зрения на вопрос происхождения жизни, но все они соглашаются, что начало этого процесса следует искать в молекулярных галактических облаках.

Авторы благодарят А.Ю. Розанова, В.Н. Обридко, В.А. Твердислова и В.Л. Штарман за плодотворные и темпераментные дискуссии по астробиологическим аспектам вопроса о месте и времени происхождения жизни.

## Литература

1. Ксанфомалити Л.В., Зелёный Л.М., Пармон В.Н., Снытников В.Н. «Гипотетические признаки жизни на планете Венера: ревизия результатов телевизионных экспериментов 1975–1982 гг.» // УФН, 2019, **189**, 403–432
2. 4-я Всероссийская конференция по Астробиологии «Геологические, биологические и биогеохимические процессы в решении астробиологических задач», Пущино, 2023, [https://issp.pbcras.ru/images/abstracts\\_2023-site.pdf](https://issp.pbcras.ru/images/abstracts_2023-site.pdf)
3. Спирин А.С. Где, когда и в каких условиях мог возникнуть и эволюционировать мир РНК? // Палеонтологический журнал. 2007. № 5. С. 11–19.
4. Cheptsov V.S. et al. Survivability of Soil and Permafrost Microbial Communities after Irradiation with Accelerated Electrons under Simulated Martian and Open Space Conditions // Geosciences. 2018. № 8. P. 298–322

5. Вибе Д.З. Химия туманностей и протопланетных облаков.  
<https://www.youtube.com/watch?v=aCUCi1qGan0>
6. Снытников В.Н. Вестник Российской академии наук, 2007, **77**, №3, с.218–226
7. Ибадинов Х.И., Каймаков Е.А. Образование и разрушение пылевых матриц при сублимации запыленного льда // Кометы и метеоры. 1970. №19, с.20–24
8. Каймаков Е.А., Шарков В.И. Сублимация водяного льда с пылевыми включениями // Кометы и метеоры. 1971. №20, 5–7.
9. Huebner W.F., Voice D.C. and Sharp C.M. Polyoxymethylene in Comet Halley // *Astrophys. J.*, 1987, **320**, pp. 149–152.
10. Мурга М.С., Варакин В.Н., Столяров А.В., Вибе Д.З. О адсорбированных ароматических углеводородах на поверхности космической пыли // *Астрономический журнал*, 2019, **96**, № 8, с. 619–627  
DOI:10.1134/S0004629919080048
11. Вибе Д. З. Эволюция межзвездной среды.  
<https://www.youtube.com/watch?v=f0s94NAQkp8>
12. Бочкарев Н.Г. «Life and the Universe» (ed. Obridko V., Ragulskaya M.) — SPb, BVM, 2017, 335 p. <http://www.izmiran.ru/pub/izmiran/Life-n-Universe.pdf>
13. Hug, L., Baker, B., Anantharaman, K. et al. A new view of the tree of life // *Nat Microbiol* **1**, 16048 (2016). <https://doi.org/10.1038/nmicrobiol.2016.48>
14. Eric Gaucher et al. Paleotemperature trend for Precambrian life inferred from resurrected proteins // 2008, *Nature*, **451**(7179):704–707 DOI:10.1038/nature06510
15. Romero-Romero M.L. et al. Selection for Protein Kinetic Stability Connects Denaturation Temperatures to Organismal Temperatures and Provides Clues to Archaean Life // 2016, *PLoS ONE* **11**(6):e0156657, DOI:10.1371/journal.pone.0156657
16. Morisson M., Szopa C., Carrasco N., Buch A., Gautier T. Titan's organic aerosols: molecular composition and structure of laboratory analogues inferred from systematic pyrolysis gas chromatography mass spectrometry analysis // *Icarus*. 2016. **277**. P. 442–454.
17. Simakov M. Possible biogeochemical cycles on Titan / In: Seckbach J. (Ed.) *Origins: Genesis, Evolution and Diversity of Life*. Kluwer. 2004. P. 645–665.
18. Westall F., Foucher F., Bost N., Bertrand M., Loizeau D., Vago J.L., Kminek G., Gaboyer F., Campbell K.A., Bréhéret J-B., Gautret P., Cockell C.S. Biosignatures on Mars: what, where and how? Implications for the search for Martian life // *Astrobiology*. 2015. № 15. P. 998–1029.
19. Шематович В.И., Маров М.Я. Диссипация планетных атмосфер: физические процессы и численные модели // *УФН*, 2018, **188**, № 3, с. 233–265
20. Садовский А.М., Струминский А.Б., Белов А.В. Космические лучи вблизи Проксимы Центавра В // *Письма в Астрономический журнал*, 2018, в.5, **44**, стр. 347–353

21. Белов А.В. Солнце: влияние на цивилизацию.  
<https://www.youtube.com/watch?v=oKBy82v6EPs>
22. Ragulskaya M.V., Obridko V.N., E. Khramova E.G. Galactic Factors, the Young Sun, the Earth, and the Biophysics of Living Systems // *Biophysics*, 2020, **65**, i.4, p 686–697, <https://doi.org/10.1134/S000635092004017X>
23. Rozanov A.Y., Ryumin A.K., Saprykin E.A., Kapralov M.I., Afanasyeva A.N., Hoover R.B. New findings of microfossils in the Orgueil meteorite // *Paleontological Journal*. 2021. **55**. № 1. С. 111–115.
24. П. Уорд, Д. Киршвинк. Новая история происхождения жизни на Земле. 2016, СПб, Изд-во «Питер», 463 стр.
25. Нил Тайсон, Дональд Голдсмит. История всего. 14 миллиардов лет космической эволюции. 2017, СПб, Изд-во «Питер», 348 стр.
26. Билл Меслер, Джеймс Кливз. Краткая история сотворения мира. 2017, Изд-во Бомбора.
27. Карл Циммер. Планета вирусов. 2023, М., Изд-во АНФ, 182 стр.
28. Сергей Ястребов. От атомов к дереву. 2018, М., Изд-во АНФ. 712 стр.
29. Н. Лейн. Вопрос жизни. 2018. Изд-во Corpus.
30. Михаил Никитин. Происхождение жизни. От туманности до клетки. 2018, М., Изд-во АНФ, 542 стр.
31. Андрей Журавлев. Сотворение Земли. 2018. Как живые организмы создали наш мир. М., Изд-во АНФ. 513 стр.
32. Роберт Хейзен. История Земли. От звездной пыли — к живой планете. 2018, М., Изд-во АНФ, 366 стр.
33. Дэвид Берковичи. Происхождение всего. От Большого взрыва до человеческой цивилизации. 2017, М., Изд-во АНФ, 202 стр.



## Origin life astronomical aspects

Maria V. Ragulskaya<sup>1</sup>, Valerii N. Snytnikov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation  
of Russian Academy of Sciences*

*E-mail: ra\_mary@mail.ru*

<sup>2</sup>*Borisev Institute of Catalysis SB RAS*

Received May 22, after correction — July 13, 2022

### **Abstract.**

The review considers the astrophysical and astrochemical possibilities for the development of the initial stages of the origin life in outer space. The possibility of the formation of extraterrestrial pre-life from the molecular galactic clouds organics, the development of the RNA world and primary biospheres in the accretion disk of planetary systems and their further transfer to the formed solid planets are discussed. It is discussed that the panspermia hypothesis and hypothesis of the origin life in the early Earth ocean are most likely not competitors, but describe different phases of the same process.