

Жизнь в Солнечной Системе

В этой подборке я хочу рассказать о жизни на различных телах Солнечной Системы. Точнее, о её возможности. На научно-популярном, непрофессиональном уровне -- так что поправки от экспертов приветствуются.

Для начала уточним задачу.

Я, вообще-то, не знаю, что такое жизнь. И подозреваю, что никто толком не знает. Так, из примерно десятка определений в [1] большинство не выдерживают даже поверхностной критики. И ситуация такова, в целом, везде.

Так что, вполне возможно, Солнечная Система кишит жизнью -- но жизнью настолько невообразимой, что мы её как таковую не воспринимаем. Протуберанцы на Солнце, Большое Красное Пятно на Юпитере, взаимодействующие друг с другом минералы в недрах планет -- все эти явления очень сложны и могут обладать многими признаками живого. Проблема с явлениями такого рода -- в самой нашей способности адекватно интерпретировать наблюдаемое. Очень интересная и огромная проблема, но слишком объёмная. Поэтому сегодня я не стану прикасаться к ней даже руками в резиновых перчатках, а буду просто "искать там, где светло". То есть, говорить исключительно о жизни, похожей на земную. Построенной на органических соединениях, питающейся употребительными на Земле источниками энергии, живущей при "нормальных" температурах и давлениях. Белковой или очень похожей на белковую.

Возникновение даже такой жизни -- вопрос во многом туманный и полный неочевидных подробностей. Важно, однако, то, что сегодня есть примерное согласие насчёт условий, **необходимых** для возникновения жизни. Их стоит перечислить:

1. "Растворитель" -- среда, в которой с лёгкостью могут проходить сложные химические реакции. В идеале это вода, но теоретически допустимы другие жидкости и даже плотные газы.
2. Насыщенность среды простейшими "строительными блоками" жизни в восстановительной форме: углеводородами, химически активным азотом, связанным кислородом. Возможно, какими-то ещё элементами (серой, фосфором).
3. Источник энергии, выводящий среду из состояния химического равновесия: ультрафиолетовое излучение, свет, молнии, приток химически активных примесей, резкие градиенты температуры, вулканизм, иногда даже радиация.
4. Температуры в районе 0...+150 градусов Цельсия. Ниже замерзает вода [хотя если допустить неводную жизнь, то можно "снизиться" до примерно -100]. Выше -- распадается органика. Да, возможно, и при +300-х существуют "дубли на германиевых полимерах", но я не способен сколько-нибудь внятно рассуждать про это.
5. Время. Как минимум миллионы лет, возможно, дольше.

Исходя из перечисленных выше **необходимых** условий, и доступных данных о других планетах, можно попытаться ответить на следующие вопросы:

1. На каких телах Солнечной Системы, в принципе, могла возникнуть жизнь?
2. Если она там возникла, могла ли она уцелеть до сегодняшнего дня?
 - 2.1. Если да, то в какой форме можно её найти?
3. Если нет, то могли ли сохраниться какие-то заметные её следы?

Итак, приступим.

--- Венера ---

Как ни дико это звучит, существование жизни на Венере сегодня не полностью исключено. Конечно, речь идёт не о раскалённой до +500 °С поверхности планеты. А об её облаках.

Существует гипотеза [2, 3], согласно которой в этих облаках обитают... одноклеточные растения, схожие с ранними земными микроорганизмами. Пробавляются они солнечным светом и различными газами из атмосферы.

В совокупности сегодняшних представлений о Венере данная гипотеза выглядит всё-таки скорее курьёзом. Я лично не поставил бы на эту идею и рубля против миллиона. Хотя... если против миллиарда, то можно подумать :))



Венера. Image credit: NASA

--- Земля ---

Земля населена в течение последних 3.5 -- 3.86 миллиардов лет [7, 8, 4]. Жизнь на этой планете достигла высокого уровня развития, легко наблюдается сегодня, а в ископаемых формах прослеживается в прошлое почти до момента происхождения. Правда, с объяснением этого происхождения по-прежнему не всё гладко.

Мы неплохо представляем себе, как жизнь эволюционировала, уже достигнув клеточного уровня. Мы примерно понимаем, как из совсем простой органики типа метана и аммиака могли возникнуть аминокислоты. Но переход между этими двумя этапами до сих пор неочевиден, и для объяснения его существует масса гипотез, включая так называемую "химическую эволюцию" [5]. Мне лично весьма правдоподобным кажется предположение о "разгоне" и самоусложнении химических авткаталитических циклов, неплохим языком изложенное, в частности, Кириллом Еськовым в [31].

Все эти сложности мы пропустим и сфокусируемся на двух простых, но важных вещах.

Во-первых, жизнь на Земле возникла, по астрономическим понятиям, на удивление быстро. Не дольше чем за первые 10% времени существования планеты.

Сейчас Земле 4.5 миллиарда лет. Первые 0.5 из них она была для жизни, скорее всего, непригодна [4]: интенсивная космическая бомбардировка, расплавленная поверхность, очень высокая температура. Затем следует перерыв в 0.5 миллиарда лет, о котором мы почти ничего не знаем. А к его концу уже массово наблюдаются безъядерные одноклеточные [7, 8]. А это довольно сложные организмы, с устаканившейся биохимией и подобием клеточной организации.

То есть, за полмиллиарда лет, если не быстрее, жизнь успела зародиться, осуществить весьма нетривиальное развитие, и расплодиться по планете до такой степени, что мы находим её следы и сегодня. Это наводит на такую мысль: похоже, жизнь на Земле возникла, по астрономическим меркам, чуть ли не **сразу** при появлении подходящих условий! Очень быстро. Если это действительно так, то хочется сделать оптимистичный вывод о высокой вероятности её появления и в других местах.

Во-вторых, условия на Земле 3.5 миллиарда лет назад кардинально отличались от сегодняшних [4, 7]. Как и тогдашние обитатели планеты. В свете этих отличий стоит подумать, на что, в принципе, может быть похожа ранняя жизнь на других планетах.

Ну, что в тогдашней атмосфере не было кислорода, знают все. Первые живые существа были анаэробами, а кислород для них, скорее всего, являлся опасным ядом.

Далее, на планете было гораздо жарче. Речь идёт о температурах в 40-100 °С.

Образ жизни ранних микроорганизмов нам почти неизвестны. С одной стороны, в самом начале жизни на Земле сложных органических соединений было мало, из чего хочется заключить, что первые живые существа должны были быть полностью от них независимыми, добывая углерод из углекислого газа, а энергию на синтез сахара из него -- из окислительно-восстановительных

реакций с веществами, на первый взгляд совершенно несъедобными. С другой стороны, экспоненциально размножаясь, они должны были бы перевести всю земную неорганику в органику за ничтожное время (что отмечено в работе [31]). Поскольку этого не случилось, "растения" и "животные", равно как потребители органики и неорганики, вероятно, возникли примерно в равновесии уже на очень ранних этапах эволюции.

Что не отменяет того факта, что как тогдашние среды обитания, так и пищевые цепочки с сегодняшней точки зрения, скорее всего, выглядели бы довольно необычно. Так, до массового насыщения атмосферы кислородом (порядка миллиарда лет назад) большинство земных существ были анаэробами, и кислород был для них опасным ядом :) Вероятно, некоторое представление о жизни и питания тех существ, можно получить, изучив современных экстремофилов, выделяющихся весьма экзотическими требованиями к среде обитания. Например [10]:

* Гипертермофилы, предпочитающие для жизни температуры в 60-100 °C и даже выше. А один вид, Strain 121, умудряется **размножаться** в медицинских автоклавах при +121 °C -- температуре, более высокой, чем потрабная для варки яиц. Подобные существа часто обитают в жерлах горячих геотермальных источников.

* Барофилы. Они прекрасно себя чувствует при высоких давлениях. Вплоть до того, что некоторые из них даже **не выживают** без давления в 1000 атмосфер.

* Эндолиты [endolith] [11, 12] -- на мой взгляд, самые удивительные микроорганизмы на Земле. Они обитают **в камнях**, иногда на глубинах до 3-х километров. Энергию добывают путём переработки соединений железа, серы прямо из камня, либо следов оных, приносимых водой и вулканическими газами. Из-за крайней скудости такого питания живут они очень медленно, делясь едва ли не раз в сотню лет.

* Acidophile и Alkaliphile: любители сильно кислой или, наоборот, сильно щелочной среды. Так, вид *Picrophilus* способен размножаться при pH равном -0.06, что превышает кислотность раствора в автомобильных аккумуляторах.

* Устойчивые к радиации виды, такие, как бактерии *Deinococcus radiodurans*, способные без вреда для себя переносить поглощённые дозы до 500 тысяч рентген. Для сравнения, смертельная доза для человека -- 450 рентген, а большинству "обычных" бактерий достаточно 10 тысяч. Этот организм, кстати, ещё и прекрасно переносит полное высыхание. По такому резюме ему в самый раз "прописываться" на Марсе.

Практически все экстремофилы -- одноклеточные и часто примитивны по сравнению с современными организмами. Но все они невероятно сложны по сравнению с отсутствием жизни!

Отметим, наконец, что многие из них не нуждаются ни в солнечном свете, ни в кислороде, ни в органических соединениях! Такие существа, они именуются хемолитоавтотрофами [chemolithoautotroph] углерод добывают из углекислого газа, а энергию, как уже сказано -- из окислительно-восстановительных реакций с неорганикой. Например:

* Серобактерии -- окисляют сероводород углекислым газом. Побочный продукт реакции -- сера, её оксиды, или даже серная кислота.

* Метанобактерии, живущие на реакции окисления водорода углекислым газом, и выделяющие метан.

* Совсем недавно обнаруженные микроорганизмы, освоившие реакцию компропорционирования соединений азота [т.н. "аннамох": $\text{NH}_4^+ + \text{NO}_2^- \rightarrow \text{N}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$] [30].

Зачем я всё это рассказываю? Чтобы подчеркнуть: даже земная жизнь, в экстремальных её проявлениях, способна занимать такие экологические ниши, и выживать в таких условиях, о которых редко писали и фантасты. Это полезно знать, прежде чем начинать искать её на других планетах.



"Розовый ковёр" -- колонии бактерий, населяющих горячие источники. Yellowstone National Park, USA.

--- Луна ---

При чём здесь, Вы скажете, Луна? При том, что шанс на её населённость есть, хоть и мизерный. И есть он года примерно с 1959-го, когда первый рукотворный аппарат, Луна-2, достиг её поверхности. Да, речь идёт о заражении Луны земными микроорганизмами :)

Дело в том, что автоматические станции, отправляющиеся на Луну, обычно не дезинфицируют. А зачем? Понятно же, что жить там нельзя. Если чего и занесётся, само вымрет. Вакуум, колебания температуры от $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+150\text{ }^{\circ}\text{C}$ и широчайший ассортимент радиации кого угодно быстро доканают.

Это очевидно, пока речь идёт о поверхности Луны. Но ведь есть же ещё и внутренние отсеки станций. Могла ли жизнь сохраниться в них?

Первая и пока единственная проверка была проведена американцами в ноябре 1969-го года. В тот год пилотируемая экспедиция Аполлон-12 прилунилась вблизи автоматической станции Сервейер-3, находившейся на Луне ещё с апреля 1967-го. Осмотрев станцию, астронавты сняли с неё некоторые части и доставили их на Землю.

На наружных поверхностях ничего живого, конечно, не обнаружилось. А вот внутри телевизионной трубки один из анализов выявил земные стрептококки.

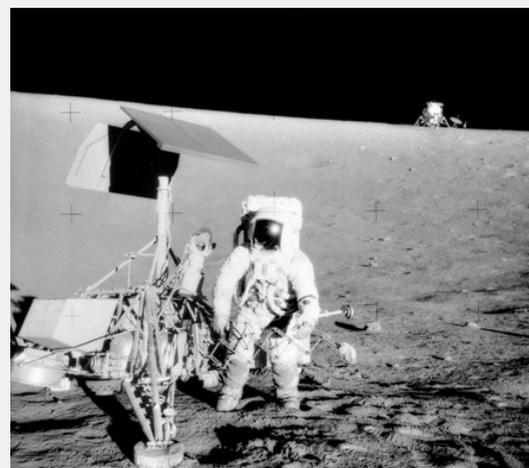
Внимательное изучение этого результата [13, 14] указывает, с высокой достоверностью, на случайное загрязнение трубки уже **после** её возвращения на Землю. Хотя бы потому, что позитивный посев дал лишь один из более чем 30 проведённых тестов, и что обнаруженные микроорганизмы не образуют спор и, таким образом, вряд ли смогли бы выжить в телевизионной трубке даже в земных условиях.

И тем не менее, незначительная вероятность обитаемости Луны сегодня сохраняется. Вспомним, сколько всего было оставлено на Луне начиная с 1959-го года. Автоматические станции, посадочные модули "Аполлонов", всякое барахло, выброшенное астронавтами. Добавим до кучи солидное количество разбившихся о Луну посадочных модулей, третьих ступеней и потерявших управление станций. В сумме, на Луне находится не менее **150 тонн** искусственных объектов.

Если некоторые из них обладают достаточно толстыми стенками, замкнутыми объёмами с атмосферой, и не прогреваются лунным днём выше $+100$ градусов, то какие-нибудь экстремофилы могли бы в них и выжить. Но если и так, то лунная жизнь далека от приятной. Без воды и источников питания, все эти бактерии вынуждены "зимовать" в виде спор, переживая громадные ежемесячные перепады температуры. Солнечная и космическая радиация помаленьку проникают даже сквозь самые толстые стенки, медленно их убивая. Рано или поздно Луна станет достоверно необитаемой; но сказать точно, когда это случится, пока, увы, не представляется возможным.



Луна. Image credit: NASA.
Экспедиция Apollo 11.



Астронавт Alan Bean у станции Surveyor 3. На заднем плане -- лунный корабль.
Image credit: NASA, экспедиция Apollo 12.

--- Марс ---

Вопрос об обитаемости Марса порядочно истоптан и требует аккуратного подхода.

Прежде всего, нельзя исключить, что Марс населён уже сегодня -- теми же земными микроорганизмами. Да, все станции перед отправкой на Красную Планету тщательно дезинфицируют. Но некоторые оценки показывают, что даже после окончательной обработки на станции может сохраняться до нескольких десятков земных микроорганизмов [15]. Будет обидно,

если обнаруженные, ко всеобщей радости, на Марсе следы жизни вдруг, ко всеобщему ужасу, окажутся бактериями, до безобразия похожими на знакомые земные виды.

В этом свете крайне опасной затеей выглядит пилотируемая марсианская экспедиция. Ведь первое, что сделают космо/астро/тайконавты, ступив на поверхность планеты -- это вывалят на неё миллиарды земных микробов. Именно так. Автоматическую станцию стерилизовать и то почти невозможно. Неужели же кто-то полагает, что удастся это проделать со скафандром, который час назад одевали в жилом помещении и лапали руками? Да ещё и с живым человеком внутри? Да потом ещё сделать то же самое со шлюзовой камерой, всеми приборами, марсоходами, оброненным мусором? *Вскрытие показало, что пациент умер от вскрытия.* Именно в такой нелепой ситуации по отношению к марсианской биосфере мы можем оказаться, если отправим туда людей.



Марс. Image Credit: NASA [Hubble Space Telescope]

Но с позиций познавательного зуда, конечно, куда интереснее вопрос о заселённости Марса его собственной жизнью. Данный интерес был сильно подстёгнут шумом, поднятым вокруг марсианских метеоритов в 1997 году [16]. Дело в том, что в этих метеоритах обнаружилось нечто, **весьма** похожее на окаменевшие одноклеточные формы жизни.

Жизнь на Марсе искать уже пытались. Так, ещё в 1976-м году две американские станции "Викинг" брали пробы грунта с поверхности и проводили с ними эксперименты на обнаружение признаков чьей-либо жизнедеятельности. Результаты [8, 17] оказались очень странными. Научное сообщество поколебалось, но потом сошлось на вполне ожидаемых выводах: 1. Жизнь **не** обнаружена. 2. Ясно было, что в **так** поставленном эксперименте её всё равно бы не нашли. Ну, известное дело -- задним числом все мы умны.

Дело в том, что открытая поверхность Марса к жизни непригодна примерно по тем же причинам, что и лунная. Почти вакуум, отсутствие воды, отсутствие органики, жесткая стерилизация ультрафиолетом и насыщенность пероксидами (которые, кстати, и привели к необычным результатам "Викингов") -- всё это создаёт весьма скверные условия для знакомой нам жизни.

Но если жизнь невозможна сегодня, то что насчёт прошлого?

Хотя и существуют указания [18, 19], что астрономически недавно (менее 1 миллиарда лет назад) на Марсе могли случаться "оттепели", с приличной атмосферой, температурой, и даже жидкой водой, оптимизма это не вселяет. Ибо, хотя знакомая нам жизнь и могла процветать в таких условиях, **зародиться** она в них не могла. Условия уже были не те. Вспомним, что возникновение жизни требует восстановительной по составу атмосферы, богатой углеводородами. А их тогда уже точно не было.

Так что в вопросе о жизни на этой планете надо заглянуть ещё дальше в прошлое. В те времена, когда планета была молода, активна, и сильно отличалась от сегодняшней. То есть, примерно миллиарда на 3 лет назад, если не раньше.

Тогдашние Марс и Земля были во многом схожи. Активный вулканизм [4, 20], богатая восстановительными компонентами, химически разнообразная и густая атмосфера, вода, тепло [4]. Если на Земле зарождение жизни заняло меньше полумиллиарда лет, то почему бы за то же время и в тех же условиях ей не возникнуть и на Марсе? Это предположение выглядит вполне резонно. Кстати, возраст окаменелостей в марсианских метеоритах составляет 3.6 миллиарда лет [16], что стыкуется с описанной картиной.

К сожалению, дальнейшие судьбы планет расходятся. Земля сохранила тепло, вулканизм и атмосферу, в результате чего у жизни оказалось 4 миллиарда лет на эволюцию, процветание, и даже написание данного текста. Марсианской жизни повезло меньше. Планета ей досталась уж очень маленькая. Вулканизм быстро начал слабеть, и, похоже, окончательно исчез уже миллиарда три лет назад. Тогда же, если не раньше, пропали парниковый эффект и магнитное поле. Отсутствие последнего и маленькая сила тяжести привели к быстрому "сдуванию" атмосферы,

остатки её смерзлись, и Марс стал непригоден для жизни. К сожалению, мы не знаем точно, когда это случилось. Где-то между 0.5 и 3.5 миллиардами лет назад (я склоняюсь ко второй цифре, но видел и более оптимистичные работы).

Могли ли остатки этой жизни уцелеть? Я полагаю, что да, и что шансы найти их неплохи. Главное, понимать, где и что ищешь.

Если марсианская жизнь была хоть в чём-то похожа на земную, то дорости до многоклеточных организмов она к моменту глобального катаклизма вряд ли успела. А успела она, если судить по земным организмам, породить одноклеточных, похожих на наши Archaea и бактерии. Среди которых, вспомним это, много экстремофилов!

Если наши экстремофилы живут в трёх километрах под землёй, то почему не могут марсианские? Когда случился гигантский катаклизм, они должны были оказаться единственными организмами, не затронутыми "стерилизацией" поверхности. А под землёй [или надо говорить "под марсом"?] не так уж и плохо. На глубине километров в 10 температура достигает эдак 0 °C или выше (на основании [21]), давление допускает жидкую воду, а пищу микроорганизмам вполне может поставлять даже самый жалкий современный вулканизм, в виде газов типа H₂S или H₂.

На этом фоне очень многообещающе выглядит обнаружение источников метана на Марсе [22], причём именно в тех местах, где повышена концентрация водяных паров в атмосфере. На Земле метан выделяют так называемые метаногены -- микроорганизмы, живущие глубоко под землёй и перерабатывающие углекислый газ и водород в метан. Поэтому вполне возможно, что источники метана на Марсе прямо указывают на заселённые участки планеты.

Во всяком случае, именно такой: глубоко подземной, микроскопической, хемосинтезирующей, анаэробной -- видится единственная мыслимая на сегодня марсианская жизнь.

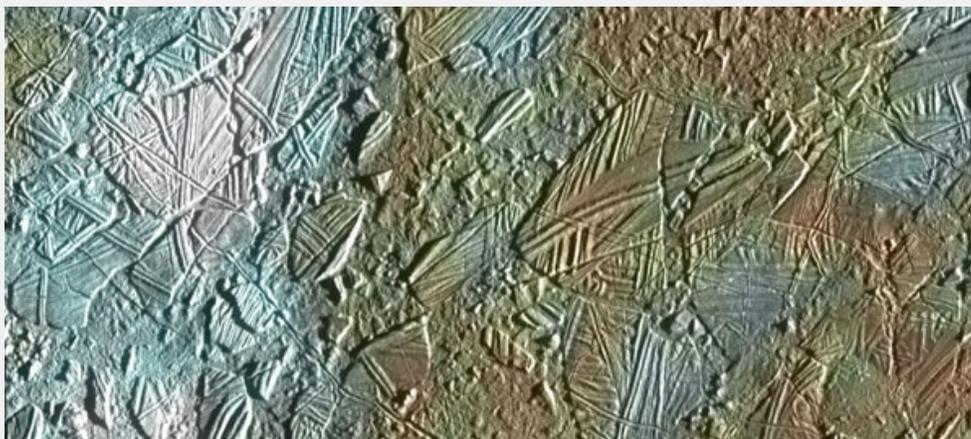
На этом хватит о Марсе и поехали дальше.

--- Европа и подобные ---

Европа, если кто не в курсе, это такой спутник. А спутник -- это такой большой шарик, вроде Луны, который крутится вокруг шарика ещё побольше, в данном случае -- вокруг Юпитера. С Западной Европой не путайте. Жизнь там точно есть, и лучше, чем на Марсе, но здесь это нам неинтересно.

Европа покрыта сплошной коркой льда, пости полностью водяного. В 2000-м году [23] учёные, работавшие со станцией Galileo, "открыли" под этой коркой водяной океан. Слово "открыли" в кавычках потому, что, на самом деле, мало кто сомневался в существовании океана уже после экспедиции "Вояджеров" в 1979 году. В книжке [24] от 1982-го года об этой возможности написано русским языком. Тем не менее, честь открытия признаётся за Galileo. Ну, пусть так. По крайней мере, Galileo провёл магнитные измерения, добавившие действительно веский аргумент в пользу океана.

Кроме океана, Европа почти наверняка обладает некоторой тектонической активностью. Так, грубые оценки приливного разогрева, проведённые по методам из [4], предсказывают усреднённый по поверхности поток тепла из недр около 0.07 Вт/м², что близко к его значению для Земли. Из чего многие радостно заключают, что на дне Европейского океана



Поверхность Европы, район Conamara chaos. Предположительно, здесь мы видим вмёрзшие в лёд "айсберги". Image credit: Galileo Project, JPL, NASA.

вполне могут существовать геотермальные источники, весьма подобные вулканчикам на дне океанов земных. Например, вдоль Срединно-Атлантического хребта.

Складываем всё вместе. Вода есть? Есть. Вещества типа метана или аммиака? Уж доли процента, в виде примесей, точно найдутся, ведь в системе Юпитера достаточно холодно для этого. Источник энергии? Вулканизм. Время? Европе не меньше трёх миллиардов лет. Итог: все необходимые условия для возникновения жизни вроде бы имеются. Достаточно ли они, конечно, это другой вопрос; но нам пока и из необходимых выбирать не особо приходится.

Если жизнь на Европе есть, на что она может быть похожа? Вопрос туманный. Одноклеточные экстремофилы-хемосинтетики представляются уверенно. Ведь живут же они на дне земных океанов, в похожих условиях, пользуясь теплом и газами подводных вулканчиков. Могут ли, теоретически, возникнуть более сложные формы? Время на это точно есть. Но достаточно ли энергии? Земные хемосинтетики на порядок уступают по энерговооруженности растениям, и за 3.5 миллиарда лет не смогли подняться по сложности выше бактерий. Возможно, это объясняется низкой эффективностью их способа обмена веществ, сильно проигрывающего в этом связке "фотосинтез + дыхание". Но в океане Европы солнечного света нет и фотосинтез невозможен. Означает ли это, что эволюция тамошних форм жизни должна проходить много медленнее, чем на Земле? Ответа мы не знаем, но узнать, конечно, хочется. В некоторых кругах уже давно муссируется вопрос об отправке на Европу станции, которая смогла бы сесть, пробурить лёд, добраться до океана и поискать там жизнь. К сожалению, при сегодняшнем уровне технического развития этот проект выглядит чистой фантастикой. Почему? Да потому, что:

1. Даже самые мощные из ныне используемых носителей могут доставить на Европу лишь тонну груза. Это если не экономить денег. Реально же хорошо если килограмм триста получится.

2. Этой станции нужно будет пробурить ледяную корку толщиной 2-10 километров [косв 4; 23]. Кстати, радиосвязь сквозь лёд невозможна, так что станции придётся тащить с собой кабель огромной длины. Или придумывать что-то со звуком?

3. И даже добравшись до воды, станция может не обнаружить ничего интересного. Ведь жизнь на Европе, если мы правильно всё понимаем, концентрируется на дне океана. А это глубина 85-300 километров, и давление в 1-3 тысячи атмосфер [8, 23]. Значит, искать придётся лишь косвенные признаки.

Более реалистичным проектом выглядит взятие проб льда и поиск в них следов жизнедеятельности микроорганизмов или сложной органики. Собственно, именно о таком проекте сколько-то всерьёз и говорит НАСА. Однако эффективность подобного исследования сомнительна. По некоторым оценкам, возраст поверхности Европы может достигать 3-х миллиардов лет [23]. И даже если он на 2 порядка меньше, этого всё равно может быть достаточно, чтобы радиация уничтожила все следы жизни во льду на глубинах, доступных к бурению. При условии, кстати, что эти следы вообще попали в анализируемый лёд в точке приземления.

Посему я полагаю, что вопрос о заселённости Европы, несмотря на вроде бы высокую вероятность таковой, останется исключительно академическим ещё много десятков лет.

В заключение отмечу, что аналогичные подлёдные океаны с недавних пор подозреваются также на Энцеладе, Ганимеде, и Титане. Однако достоверность оных, равно как и вероятность нахождения жизни на этих телах выглядят более низкими по сравнению с Европой.

--- Титан ---

Титан, спутник Сатурна, вероятно -- ещё один "погибший мир" в нашей Солнечной Системе. Сегодня мороз на Титане составляет -180 градусов Цельсия, и никакая жизнь, в нашем понимании, там невозможна.

Но ранняя атмосфера Титана была существенно плотнее сегодняшней [25, 26] -- возможно, раз даже в 30. Если так, то за счёт парникового эффекта температура на нём могла достигать земной комнатной. Добавим к этому идеальную по химии атмосферу (много метана, азотная органика), вулканизм (предположительно сохранившийся и посегодня), и получим условия, неплохо вписывающиеся в "здесь был Вася жизнь!"

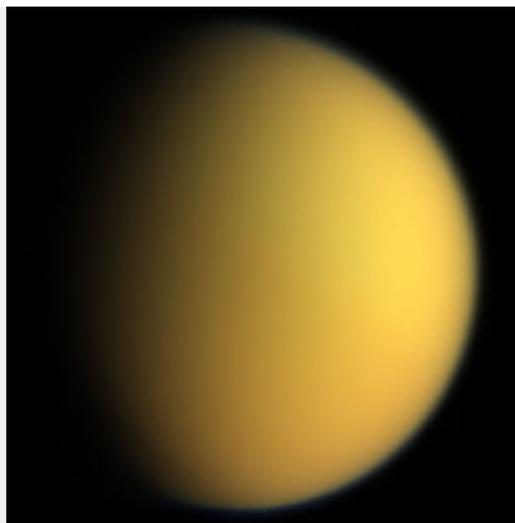
К сожалению, большую часть своей атмосферы Титан растерял, причём, вероятно, очень давно. Температура от этого завалилась в область жидкого азота и всё живое на поверхности должно было напрочь вымерзнуть. Найти его остатки сегодня вряд ли удастся: активное обновление поверхности Титана за счёт круговорота жидкого метана, ветровой эрозии и вулканизма должно было стереть все следы.

Разумеется, у жизни и здесь осталась лазейка. Даже две.

Первая -- подобная марсианской: забиться в почву, желательно поближе к источникам вулканизма. Питаться их теплом и энергией.

Вторая -- спрятаться в подлёдный океан, о котором мы уже упоминали, говоря про Европу.

К сожалению, мы всё ещё слишком мало знаем об этой планете, чтобы успешно рассуждать о жизни на ней в сколько-нибудь более детальных подробностях.



Титан, спутник Сатурна, окружён знатною атмосферой. Image credit: NASA, the European Space Agency, and the Italian Space Agency, станция Cassini.

--- Нептун ---

И все остальные планеты-гиганты: Уран, Сатурн, Юпитер.

"В своём ли уме автор? Там же холод и нет твёрдой поверхности!" Заверяю, что в своём. Согласен, что гипотеза выглядит несколько фантастично. Понимаю, что всё это маловероятно. Но всё-таки могу до некоторой степени обосновать.

У Нептуна, как и у остальных планет-гигантов, действительно трудно провести границу между атмосферой и поверхностью. Уж больно толстые у них атмосферы. Поэтому за "поверхность" обычно принимают уровень, где давление составляет 1 атмосферу. И лишь на много тысяч километров ниже, на уровне ядра, встречается, наконец, первое твёрдое вещество (но и то в формах, сильно отличных от привычных нам из-за крайне высокого давления в тех глубинах).

На Нептуне температура на уровне 1 атмосферы составляет $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Знакомая нам жизнь при этом невозможна. Но что будет, если нырнуть вглубь планеты? Правильно. Там теплее. По современным представлениям о Нептуне, не очень надёжным, правда, выходит, что температура составит $+20$ градусов Цельсия на глубине 170-230 км [8]. Давление на этом уровне -- около 100 атмосфер. Примерно как на километровой отметке под поверхностью земного океана.

Далее, насколько известно, в атмосферах планет-гигантов бывают молнии. А в углеводородной атмосфере именно они, согласно исследованиям Миллера от ещё 1953-го года, способны производить достаточно сложные органические вещества, вплоть до аминокислот.

Разумеется, от аминокислот до жизни путь неблизкий. Отнюдь не факт, что он пройден на Нептуне. Но основные базовые условия для него вроде есть: среда, её состав, источники энергии в виде химически неравновесных примесей. Кроме молний, эти примеси также могут поставлять органические аэрозоли, синтезируемые благодаря ультрафиолетовому излучению Солнца в верхней атмосфере, и соединения, образующиеся при очень высоких температурах в недрах Нептуна и выносимые оттуда наверх конвекцией.

Атмосферное перемешивание, однако, является также главным фактором, препятствующим возникновению жизни. Ведь температура газа сильно неоднородна по высоте. Что толку, если на уровне $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ возникнет жизнь, которую тут же засосёт ветром на 100 километров вниз и



Нептун, официально -- самая далёкая планета Солнечной Системы. Image credit: Voyager 2, NASA.

разрушит жарой при +100 °С? Мда... "Любить невозможно, вися на стене, в отсутствии силы тяжести".

Характерное время вертикального перемешивания атмосферы за счёт конвекции даётся формулой:

$$t \sim H^2/K_e \quad (1)$$

Здесь H -- вертикальный масштаб атмосферы (перепад высот, на котором давление уменьшается в e раз), а K_e -- коэффициент турбулентного перемешивания. Значение последнего для тропосфер планет-гигантов известно плохо. В [28] называются цифры от 10^3 до 10^5 м²/с; в [27], однако, приводятся куда более низкие значения порядка $10^{-2} \dots 1$ м²/с. Чтобы избежать чрезмерного оптимизма, будем основываться на менее благоприятных цифрах из [28]. Затем, на глубине, о которой идёт речь, H для Нептуна составляет около 90 км. Из этого следует время перемешивания в районе $8 \cdot 10^4$ -- $8 \cdot 10^6$ секунд, то есть от одного дня до трёх месяцев.

Это -- то время, за которое 64% возникшей было на уровне +20 °С жизни будут вынесены в более холодные или жаркие слои, где, возможно, погибнут. Как видим, ситуация не совсем безнадёжна. Если тамшняя жизнь сумеет "размножиться с опережением" -- хотя бы раз в каждые несколько суток -- то её шансы выжить на Нептуне будут не столь уж и плохи.

Конечно, очень хотелось бы дожить до того дня, когда данную гипотезу проверят непосредственными измерениями. Пока, однако, таких перспектив нет. Даже по самым оптимистичным прогнозам, следующая станция прибудет на Нептун лишь в 2035 году [29], и вовсе не факт, что она проведёт нужные нам исследования.

В заключение стоит ответить на вопрос: а почему именно Нептун? Разве на остальных планетах-гигантах не наблюдаются похожие условия? Да, это так. Но следует помнить, что вероятность возникновения жизни пропорциональна скорости "интересных" химических реакций. А она, в свою очередь, пропорциональна произведению концентраций основных реагентов. Полагая, что отношения концентраций азота, серы и прочих биогенных элементов к углероду в глубинах всех планетах-гигантов одинаковы, можно заключить, что вероятность возникновения жизни грубо пропорциональна квадрату концентрации метана в атмосфере на уровне "нормальной" температуры. При прочих равных [большой частью, конечно, неизвестных] условиях.

Исходя из этого, и используя справочные данные о составе и структуре атмосфер гигантов [8, 23, 27], получаем следующие примерные (по порядку величины) отношения вероятностей их заселённости:

$$\text{Юпитер} : \text{Сатурн} : \text{Уран} : \text{Нептун} == 1 : 30 : 10000 : 30000$$

Следует, конечно, скептически относиться к этому выводу. В первую очередь потому, что коэффициент пропорциональности в данном соотношении запросто может оказаться просто нулём :) Кроме того, в [27] приводятся косвенные указания на то, что перемешивание атмосферы Нептуна может быть гораздо сильнее, чем определяется формулой (1). В таком случае наиболее перспективным кандидатом на наличие жизни среди планет-гигантов становится Уран.

--- Кометы и астероиды ---

Довольно смелая гипотеза высказана в работе [6], вкратце суть её сводится к следующему.

На самом раннем этапе существования Солнечной Системы даже мелкие тела, размерами в десятки и сотни километров, могли быть разогреты за счёт энергии аккреции и довольно богаты органическими веществами -- в частности, благодаря первичным атмосферам, впоследствии утерянным.

Как мы знаем, жизнь на Земле при наличии подходящих условий зародилась за 500 миллионов лет, если не гораздо быстрее. Если ледяное тело, богатое водой и углеводородами, не успело за это время остыть, то в принципе примитивная жизнь могла возникнуть и на нём! А данное время остывания, по грубым оценкам, характерно для тел с размерами от 100 км. и выше -- то есть, для очень многих спутников планет, астероидов и даже, вероятно, наиболее крупных комет.

К сожалению, оценки показывают, что для аккреционного нагрева хотя бы на 100 градусов тело должно быть не менее километров 900 в диаметре. Комет такого размера нет, а астероидов буквально один. Есть, правда, ещё несколько крупных спутников. Но даже если они когда-то и были обитаемы, сегодня, конечно, от этой жизни ничего не осталось.

Гипотеза, однако, представляет некоторый интерес в свете возможного занесения жизни на Землю извне, при падении комет и метеоритов.

--- Заключение ---

Несмотря на целый спектр развёрнутых предположений о населённости тел Солнечной Системы, следует помнить, что все эти оценки безмерно оптимистичны. Они имеют тенденцию включать в рассмотрение параметры, способствующие возникновению жизни, и зачастую игнорировать те факторы, что могут ей препятствовать.

Поэтому в целом, я думаю, реальная вероятность найти жизнь где-либо в Солнечной Системе вряд ли превышает несколько процентов. Чего, впрочем, вполне достаточно для оправдания поисков.

Парадоксально, но обнаружение жизни где-нибудь "поблизости" на самом деле будет является своего рода подтверждением смертного приговора нашей цивилизации. Почему?

Дело в том, что, по сегодняшним представлениям, вероятность возникновения жизни на планетах других звёзд довольно высока, равно как и вероятность её развития в цивилизацию, подобную нашей. Нет, конечно, точную цифру Вам никто не назовёт; но даже по очень скромным прикидкам речь идёт о десятках цивилизаций, возникших в одной только нашей Галактике за последние 5 миллиардов лет.

Если допустить, что хотя бы часть этих цивилизаций выживает в течение астрономических времён, и развивается темпами, сопоставимыми с нашими нынешними, то из этого следует, что Галактика сегодня обязана просто кишеть чрезвычайно развитыми и могущественными сверхразумами!

Наблюдается ли это кишение? Нет. Если, конечно, не считать сообщений об НЛО, которые, однако, не выдерживают даже статистической критики :)

Следовательно, хоть мы и знаем, что вокруг должно быть полно братьев по разуму, их почему-то нет. Этому возможны десятки объяснений; один господин, не помню фамилию, книжку даже написал, где скрупулёзно их перечислил. Но из всей массы этих "гипотез" более-менее выделяются на сегодня два класса:

1. Активные цивилизации технологического типа живут **очень** мало. Настолько мало, что не успевают ни связаться друг с другом, ни оставить сколько-нибудь заметных следов своего существования на фоне Галактики. Чтобы удовлетворить этим условиям, речь должна идти максимум о единицах тысячелетий. А потом всем наступает конец, по невыясненным пока причинам. Перспектива для нас, если честно, безрадостная.

2. Технологические цивилизации возникают **исключительно** редко. Возможно, мы пока вообще первая мыслящая раса во всей Вселенной! А возникают они редко потому, что жизнь, возможно, является невероятной случайностью, и её возникновение на Земле было фантастическим везением.

Так вот. Пока мы видим жизнь только на нашей планете, мы смело можем полагать, что вероятность её возникновения сколь угодно мала, и этим объяснять Великое Космическое Молчание наших потенциальных соседей.

Но если вдруг мы выкопаем эту жизнь на Марсе, да ещё потом и на Европе, то придётся признать, что она возникает в любой приличной солнечной системе с вероятностью в десятки процентов!

Что автоматически резко увеличит шансы объяснения № 1 на верность, ибо произведение всех этих параметров по-прежнему мало.

Противоречие этих двух условий вызывает у меня желание сформулировать своего рода "третий антропный принцип". А именно: **наш мир устроен так, что всякая цивилизация в нём**

успевает встретить за свою жизнь лишь порядка одной независимо возникшей формы жизни. Чаще всего -- самих себя.

--- Источники ---

- [1]: <http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%96%D0%B8%D0%B7%D0%BD%D1%8C> смеха ради.
- [2]: <http://www.newscientist.com/article.ns?id=dn2843>
- [3]: Schulze-Makuch, D., and Irwin, L. N. "Reassessing the possibility of life on Venus: Proposal for an Astrobiology Mission," *Astrobiology*, 2(2), 197-202 (2002).
- [4]: George H. A. Cole, and Michael M. Wolfson, "Planetary Science", Institute of Physics Publishing, Bristol and Philadelphia, 2002.
- [5]: Статья "Химическая эволюция" в Википедии, вроде приличная.
- [6]: http://www.pha.jhu.edu/~pmachal2/ism_review_redone_feb07.pdf
- [7]: <http://en.wikipedia.org/wiki/Archaea>
- [8]: Katharina Lodders and Bruce Fegley, Jr. "The Planetary Scientist's Companion". New York, Oxford, Oxford University Press, 1998.
- [9]: <http://textbookofbacteriology.net/bacteriology.html>
- [10]: <http://en.wikipedia.org/wiki/Extremophile>
- [11]: <http://en.wikipedia.org/wiki/Endolith>
- [12]: <http://serc.carleton.edu/microbelife/extreme/endoliths/index.html>
- [13]: http://www.lpi.usra.edu/expmoon/Apollo12/A12_Experiments_III.html
- [14]: http://en.wikipedia.org/wiki/Myth_of_Streptococcus_mitis_on_the_moon
- [15]: <http://www7.nationalacademies.org/ssb/europaappenda.html>
- [16]: <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/marslife.html>
- [17]: Robert Godwin, "Mars -- The NASA Mission Reports", 2000, Apogee Books.
- [18]: http://virlib.eunnet.net/win/metod_materials/wm3/dynamics.htm
- [19]: Рябов Ю. А., "Движения небесных тел", изд. 4, перераб. и доп, М: Наука, 1988.
- [20]: Галкин И. Н., "Внеземная сейсмология", Москва "Наука", 1988.
- [21]: <http://www.lpi.usra.edu/meetings/geomars2001/pdf/7003.pdf>
- [22]: <http://www.astrobio.net/news/modules.php?op=modload&name=News&file=article&sid=1207>
- [23]: David M. Harland, "Jupiter Odyssey -- The Story of NASA's Galileo Mission", Praxis Publishing Ltd., Chichester, UK, 2000.
- [24]: Силкин Б.И. "В мире множества лун." - М.: Наука, 1982.
- [25]: http://www.iwf.oeaw.ac.at/english/research/solarsystem/moons/titan/research/atmosphereevolution_e.html
- [26]: и ряд других источников, восходящих в прошлое чуть ли к началу 80-х, которые мне лень искать.
- [27]: Patrick G.J. Irwin, "Giant Planets of Our Solar System: An Introduction", Praxis Publishing Ltd., Chichester, UK, 2003.

[28]: <http://scienceworld.wolfram.com/physics/EddyDiffusionCoefficient.html>

[29]: http://www.eurekalert.org/pub_releases/2004-12/giot-nmt120804.php

[30]: http://www.mbari.org/seminars/1999/nov03_stous.html

[31]: Кирилл Еськов, "История Земли и жизни на ней"

23.08.2007 (слегка обновлено 24.01.2016). Ссылка на эту статью в ЖЖ и дискуссию: <http://eugenebo.livejournal.com/89343.html>

===

Text Author(s): Eugene Bobukh === Web is volatile. Files are permanent. **Get a copy:** [PDF] [Zipped HTML] ===
Full list of texts: <http://tung-sten.no-ip.com/Shelf/All.htm> === **All texts as a Zip archive:** <http://tung-sten.no-ip.com/Shelf/All.zip> [mirror: <https://1drv.ms/u/s!AhyC4Qz62r5BhO9Xopn1yxWMSxtaOQ?e=b1KSiI>] === **Contact the author:** h o t m a i l (switch name and domain) e u g e n e b o (dot) c o m === **Support the author:** 1. **PayPal** to the address above; 2. **BTC:** 1DAptzi8J5qCaM45DueYXmAuiyGPG3pLbT; 3. **ETH:** 0xbDf6F8969674D05cb46ec75397a4F3B8581d8491; 4. **LTC:** LKtdnrau7Eb8wbRERasvJst6qGvTDPbHcN; 5. **XRP:** ranvPv13zqmUsQPgazwKkWCEaYecjYxN7z === **Visit other outlets:** Telegram channel <http://t.me/eugeneboList>, my site www.bobukh.com, Habr <https://habr.com/ru/users/eugenebo/posts/>, Medium <https://eugenebo.medium.com/>, Wordpress <http://eugenebo.wordpress.com/>, LinkedIn <https://www.linkedin.com/in/eugenebo>, ЖЖ <https://eugenebo.livejournal.com>, Facebook <https://www.facebook.com/EugeneBo>, SteemIt <https://steemit.com/@eugenebo>, MSDN Blog https://docs.microsoft.com/en-us/archive/blogs/eugene_bobukh/ === **License:** Creative Commons BY-NC (no commercial use, retain this footer and attribute the author; otherwise, use as you want); === **RSA Public Key Token:** 33eda1770f509534. === **Contact info** relevant as of 7/15/2022.

===