

Парадокс Ферми, XXI век

13 августа 2015 года.

Михаил Родкин <http://trv-science.ru/>

В 1950-х годах великий итальянский физик Энрико Ферми задался вопросом, который позже назовут парадоксом Ферми. Вселенная существовала миллиарды лет до образования Солнечной системы. Солнце — вполне обычная звезда, каких очень много. Планета Земля — менее рядовое явление, но нет оснований считать ее уникальной. Отсюда следует, что в нашей Галактике должны существовать цивилизации старше нас на миллионы и даже на миллиарды лет. По аналогии с нашей цивилизацией можно предположить, что они будут активно заниматься исследованиями космического пространства и излучать радиоволны. Отсюда естественно было бы заметить аномальное радиоизлучение от некоторых звезд, а также встретить чужие исследовательские зонды и космические корабли. Но ничего подобного не наблюдается. И Ферми спрашивает: «*Так где же они все?*»

В 1961 году Фрэнк Дрэйк предложил свое знаменитое уравнение для оценки числа N цивилизаций в нашей Галактике, с которыми мы могли бы установить радиосвязь. Одна из модификаций этого уравнения имеет вид:

$$N = R \cdot F_1 \cdot n \cdot F_2 \cdot F_3 \cdot F_4 \cdot t,$$

где R — скорость появления новых звезд в нашей Галактике; F_1 — доля звезд с планетными системами; n — среднее число планет в Солнечной системе, на которых может развиться жизнь; F_2 — доля планет с допустимыми для развития жизни условиями, на которых жизнь развилась; F_3 — доля небезжизненных планет, на которых развивается разумная жизнь; F_4 — доля цивилизаций, которые развиваются до стадии технологических, способных посылать и принимать радиосигналы; t — длительность жизни таких цивилизаций.

Астрономы оценивают $R \approx 7$ в год, $n \approx 1 \dots 3$. Наличие у звезды планетной системы полагается типичным. Жизнь на Земле стала развиваться почти сразу же вслед за образованием планеты. Развитие разумной жизни, а затем и технологической цивилизации представляется — на опыте Земли — почти неизбежным следствием эволюции. Отсюда F_1 , F_2 , F_3 , F_4 близки к единице, и получаем упрощенную запись формулы Дрэйка: $N \approx 10 t$.

Результат шокирующий. Сначала предположили, что оценки неверны, планетные системы возникают только у очень малой доли звезд и феномен жизни во Вселенной крайне редок. Однако вскоре эти объяснения пришлось признать несостоятельными. К настоящему времени открыты уже тысячи планет, их число оказалось близко к тому, что виделось оптимистам середины прошлого века. Много экзопланет открыто уже на расстоянии менее 40 световых лет от Земли, более десятка из них относится к планетам земной группы. И этот список заведомо неполон.

Уникальность феномена жизни также не подтверждается. На Марсе была жидкая вода и не исключено, что обнаружены следы деятельности марсианских микробов. Более того, появляются свидетельства, что ранее на Марсе существовала развитая экосистема. Предположения о возможности

существования жизни высказываются и в связи с другими планетными телами: обсуждается, например, существование подледной жизни на спутнике Юпитера Европе.

Альтернативным вариантом объяснения парадокса Ферми может считаться малая продолжительность жизни цивилизаций. И в последней своей статье Иосиф Шкловский, известный прежде как большой энтузиаст программ поиска внеземного разума, с грустью пишет: «...Разум есть одно из „изобретений“ эволюционного процесса... но далеко не все они оказываются полезными. Вспомним чудовищно гипертрофированные рога и панцири у рептилий мезозоя. Или неправдоподобно развитые клыки саблезубого тигра... Невольно напрашивается аналогия, не является ли самоубийственная деятельность человечества (чудовищное накопление ядерного оружия, уничтожение окружающей среды) такой же гипертрофией развития, как рога и панцирь какого-нибудь трицератопса или клыки саблезубого тигра? Не является ли самоуничтожение закономерным финалом эволюции разумных видов во Вселенной, что и объясняет ее молчание?»

Причиной краткости существования цивилизаций может быть глобальный экологический кризис. В пользу возможности такого кризиса свидетельствует лавинообразный рост таких параметров, как численность и энергопотребление человечества, быстро нарастающие объемы потребляемых ресурсов и накапливающихся отходов. Но не всё так уж безнадежно. Графики численности населения, потребления ресурсов и энергии начали заметно отклоняться от кризисного лавинообразного роста. Неизбежность катастрофы уже не столь очевидна.

Другой возможный исход — термоядерная война. Гибель цивилизации при этом может быть следствием комбинированного воздействия ядерного заражения и эффекта «ядерной зимы». Проясним те моменты в моделировании «ядерной зимы», что вызывают давние дискуссии.

Сейчас весьма популярна точка зрения, согласно которой по крайней мере некоторые массовые вымирания биоты в истории Земли могли быть спровоцированы эффектами метеоритной или вулканической зимы. При падениях крупных метеоритов и извержениях супервулканов происходит выброс в атмосферу огромных масс пыли. Пыль экранирует планету от солнечных лучей, что вызывает существенное похолодание. Эффект похолодания продолжается, пока пыль не осядет. Уже на памяти человечества известно несколько случаев, когда вслед за сильными вулканическими извержениями наблюдались «года без лета», иногда сопровождавшиеся голодом и народными волнениями. В истории России с такой «вулканической зимой» связывают Смуту.

Выброс огромных масс вещества в верхние слои атмосферы происходит и при ядерных взрывах. Но эффект может быть много сильнее. Целями ядерных ударов являются города. А в городах сконцентрировано много больше горючих материалов, чем их имеется в природных ландшафтах. Отсюда сильнейшие пожары. Подобные огненные смерчи наблюдались в ходе Второй мировой войны после массированных бомбардировок немецких городов и атомных бомбардировок Японии. Огненные смерчи дополнительно выносят в верхние

слои атмосферы огромные массы сажи. А тонкие пластинки пепла и сажи сильнее экранируют солнечные лучи и медленнее осаждаются, чем обычная пыль. С последним согласится каждый, кому приходилось жечь костер и наблюдать, с какой легкостью летят вверх частички пепла. Циркуляция атмосферы разносит сажу по планете, укутывая ее черным саваном. При этом верхние частички сажи разогреваются в солнечных лучах, нагревают воздух и поднимаются им вверх. Как следствие, осаждение сажи и вымывание ее дождями из атмосферы дополнительно замедляется. На некоторое время возникает даже не эффект «ядерной зимы», а «ядерной ночи». Под черным саваном сажи будет темно, как в безлунную ночь. Прекратится фотосинтез, следствием чего станет гибель существующей экосистемы Земли.

Расчеты сценариев «ядерной зимы», проведенные в 1980-е годы независимо в Корнеллском университете (США), в Вычислительном центре Академии наук СССР и в ряде других научных центров, дали хорошо согласующиеся результаты. Согласно этим результатам, полное использование ядерных арсеналов человечества может привести к гибели даже океанических экосистем. В этом случае эволюция жизни на планете будет отброшена назад на пару миллиардов лет. Подробные сценарии ядерной зимы читатель с легкостью найдет в многочисленных публикациях 1980–1990-х годов.

Модель «ядерной зимы» встретила, естественно, и критику, вплоть до утверждений, что «ядерная зима» — это миф, раздутый с целью победы США в холодной войне. Критики, в частности, полагают, что стороны пощадят крупные города, ограничившись ударами по военным базам и позициям ракет. Также утверждается, что сажа не будет подниматься столь высоко и осядет довольно быстро. Автору эти утверждения не кажутся обоснованными. Читатель может составить свое мнение, запросив в Интернете «миф о ядерной зиме» или похожие ссылки. Очевидно, однако, и то, что расчеты сценариев «ядерной зимы» не могут быть безукоризненны. Для этого нужны точные исходные данные, а последние могут быть получены только в натурном эксперименте — по результатам ядерной бомбардировки современного большого высокоэтажного города. Хочется надеяться, что такой эксперимент не состоится.

Но возможно ли столь самоубийственное развитие событий? Ведь почти очевидно, что ни одна из сторон не желает развязывания ядерного конфликта. Не исключено, однако, развитие конфликта по «логике снежной лавины», возможны и сценарии развития апокалипсиса «по ошибке». Только в США за период до 2005 года известно более двадцати инцидентов, которые могли привести к случайному или несанкционированному применению ядерного оружия. Надо полагать, не меньшее число подобных происшествий имело место и в СССР. Один такой случай стал известен в годы перестройки: подполковник в отставке Станислав Петров поведал, что в 1983 году, будучи оперативным дежурным в командном пункте системы предупреждения о ракетном нападении войск ПВО, он объявил ошибкой сообщение системы о запуске по территории СССР пяти межконтинентальных баллистических ракет «Минитмен» с десятью ядерными боеголовками каждая. За нарушение инструкции Петров был тогда

уволен из рядов ВС (подробнее этот случай был описан в TrV ранее, <http://trv-science.ru/2014/03/11/nauka-reshaet-fundamentalnye-zadachi/>).

Рост международной напряженности в связи с украинским кризисом повысил опасность мирового военного конфликта. В 2014 году истребители НАТО поднимались на перехват российских самолетов втрое чаще, чем годом ранее. При этом британский аналитический центр European Leadership Network насчитал за первые восемь месяцев 2014 года три случая, которые были на грани применения оружия. Итак, если до украинского кризиса ежегодно возникало не более одного случая, грозящего глобальным конфликтом, то теперь их около пяти.

Один случай, пять случаев — много это или мало? Опасно или не очень? Попробуем оценить, пусть и очень условно. Вацлав Смил в своей известной монографии (2008, русский перевод 2012 года) на основании экспертных оценок принимает однопроцентную вероятность перерастания особо опасного инцидента в ядерный конфликт. Исходя из этого значения, оценим опасность «самоуничтожения по ошибке». При пяти случаях за год за пять лет (вполне реальный срок продолжительности крымско-украинского конфликта) вероятность апокалипсиса близка к 20%. Для сравнения, вероятность для москвича оказаться среди жертв взрывов в метро или среди заложников «Норд-Оста» — около 0,05%. Если такой же уровень опасности сохранится в течение столетия, то вероятность благополучного — без ядерной войны — завершения этого столетия составит всего 0,5%. Столь низкая вероятность выживания человечества представляется вполне весомой заявкой на объяснение парадокса Ферми. Приведем иные оценки вероятности разрушительных военных конфликтов. По оценкам разных видов риска из доклада Всемирному экономическому форуму (выдержки приведены Б.Н.Порфирьевым на его выступлении на Президиуме РАН 10 февраля 2015 года), вероятность гибели многих миллионов человек в военном конфликте на 2015 год составляет 3,6% — меньше нашей оценки по данным «военного» 2014 года (5%), но существенно выше вероятности для предыдущего мирного периода времени. Согласно оценкам Вацлава Смил, в следующие 50 лет вероятность возникновения большой войны составляет всего около 1%. Заметим, однако, что столь оптимистичную оценку Смил получил для политической ситуации минимума числа вооруженных конфликтов в мире (для периода 1995–2010 годов) и при полном отсутствии напряженности по линии Россия — НАТО.

Естественно, что военное столкновение — это еще не ядерный конфликт, а ядерный конфликт — это еще не обязательно полноценная «ядерная зима». Но в свете парадокса Ферми (почти единогласное мнение специалистов, занимавшихся этой проблемой, сводится к тому, что длительность существования технологических цивилизаций не превышает тысячи лет) и значительного числа происходящих в мире случайных катастроф (которых как будто никак не могло случиться) возможность такого печального исхода не кажется надуманной. Более подробно рассмотренные вопросы обсуждаются в 5-й главе выходящей в 2015 году в Издательском доме «Интеллект» книге автора «Катастрофы и цивилизации. Проблема выживания цивилизаций глазами физика

Скажи, кто твой микроб, и я скажу, кто ты

06 октября 2015 года. ТрВ № 189, с. 15, "Всё живое"

Наталья Резник

Значительную, если не большую часть жизни горожане проводят в помещениях, где с ними соседствует огромное количество бактерий и грибов. Не всегда такое соседство приятно, некоторые микроорганизмы патогенны, другие вызывают аллергию, но и без них тоже нельзя. Согласно многочисленным данным, недостаточный контакт с микробами, грибами и паразитами чреват высокой вероятностью возникновения аллергических заболеваний. Избавиться от домашней микрофлоры невозможно, но в наших силах повлиять на ее состав, а для этого необходимо знать, какие факторы формируют сообщество домашних микробов. С этой целью специалисты университетов Колорадо и Северной Каролины (США) под руководством Ноя Фирера (Noah Fierer) исследовали видовой состав грибов и бактерий, найденных в пыли 1200 домов, рассеянных по территории Соединенных Штатов.

Чтобы собрать образцы пыли, исследователи воспользовались помощью волонтеров — участников научного проекта «Дикая жизнь наших домов» (Wild Life of Our Homes). Пыль собирали в таких местах, где ее вытирают реже всего: с верхних кромок наружной и внутренних дверей. Там она скапливается и лежит, практически не контактируя напрямую с обитателями дома. Из тампонов с полученными образцами выделяли и секвенировали ДНК.

Ученые выяснили, что сообщество бактерий и грибов, найденных в домашней пыли, в целом отличается от уличного не только видовым составом, но и разнообразием, которое в доме примерно на 50% выше, чем снаружи. На улице преобладают несколько доминирующих таксонов: грибы родов *Cladosporium* и *Toxicocladosporium* и бактерии отрядов Actinomycetales и Sphingomonadales. Пыль в помещении и на улице рядом с домом содержит разные микроорганизмы, но эти различия более ощутимы для бактерий, нежели для грибов, большинство из которых попадает в дом извне.

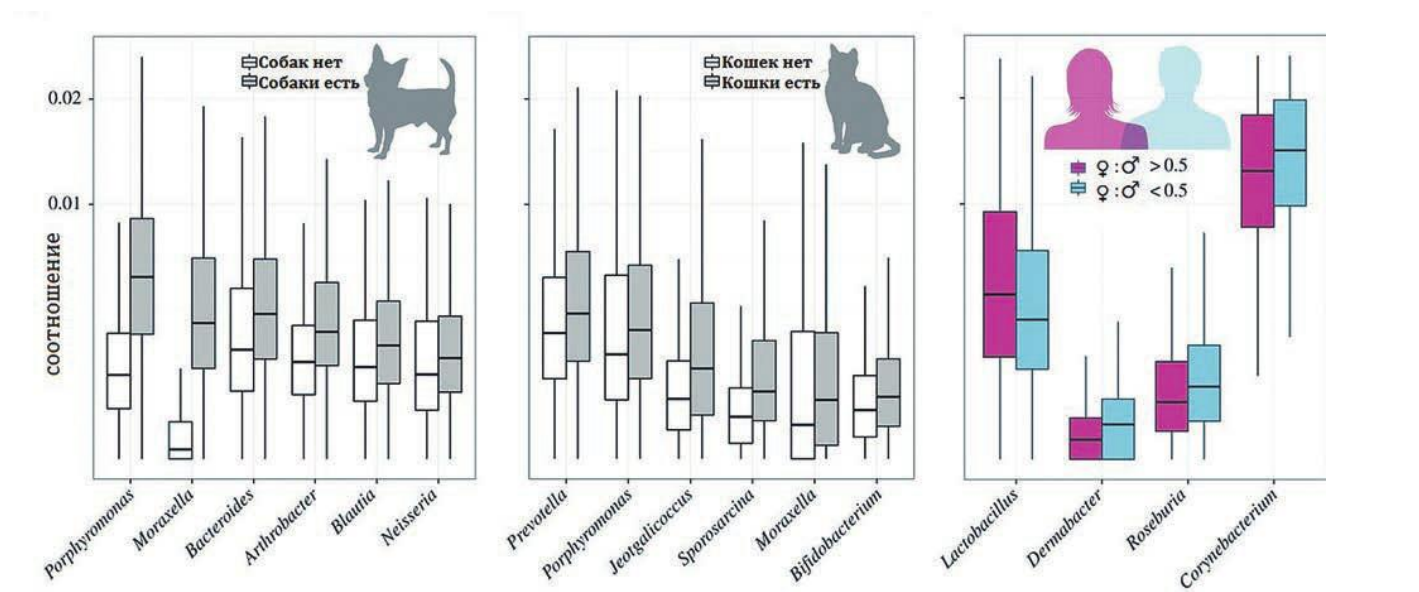
Грибов, которые предпочитают жить не на улице, а под крышей, очень мало. К ним относятся прежде всего *Aspergillus*, *Penicillium*, *Alternaria* и *Fusarium*, а также некоторые грибы, разрушающие древесину (*Stereum*, *Trametes*, *Phlebia* и *Ganoderma*). «Домашними» можно считать грибы, живущие на коже человека, в том числе *Candida* и *Trichosporon*, а также дрожжи *Saccharomyces* и грибы, которые выращивают в подвалах: *Pleurotus* (вешенки) и *Agaricus* (шампиньоны).

Исследователи отмечают, что примерно 65% видов грибов, обитающих в доме, встречаются и на улице. Зная, какие грибы за порогом, можно с очень высокой вероятностью предвидеть, что мы обнаружим в домашней пыли. Грибное сообщество зависит прежде всего от географического положения дома и

климатических условий местности. Эти данные, по мнению исследователей, могут объяснить различную чувствительность людей к аллергенам грибов в разных регионах страны. Во всяком случае, связь между обилием грибных аллергенов в домашней пыли и частотой возникновения заболевания заслуживает изучения. Исследователи отмечают, что особенности дома, в том числе его планировка и вентиляция, гораздо меньше влияют на грибную флору жилища, чем внешние условия.

Естественно, внешние условия влияют и на бактериальное сообщество дома, однако это влияние гораздо слабее, чем для грибов. В домашней пыли преобладают не уличные микробы, а насельники обитателей дома. К ним относятся бактерии человеческой кожи (*Staphylococcus*, *Streptococcus*, *Corynebacterium* и *Propionibacterium*), вагины (*Lactobacillus*, *Bifidobacterium* и *Lactococcus*) и фекалий (*Bacteroides*, *Faecalibacterium* и *Ruminococcus*). Кроме того, в пыли обычны микроорганизмы насекомых (*Wolbachia*, *Buchnera*, *Rickettsia* и *Bartonella*) и домашних животных.

Ученые идентифицировали 56 родов бактерий, относительное обилие которых в доме связано с собаками, и 24 рода, свидетельствующих о присутствии кошек (см. рисунок); бактерии этих таксонов часто встречаются во рту или фекалиях домашних животных. По относительно высокому содержанию соответствующих микроорганизмов в пыли можно с точностью 92% предсказать, что в доме живет собака, и с вероятностью 83% — кошка.



Состав микробного сообщества позволяет судить об обитателях дома (Barberán et al., 2015)

Кроме того, на микрофлору влияют количество живущих в доме людей и соотношение мужчин и женщин. Тут, правда, зависимости не такие строгие, как для домашних животных, но исследователям удалось определить отличительные черты микробных сообществ домов, в которых женщин больше

или меньше, чем мужчин (см. рисунок). Если в пыли изобилие микроорганизмов, живущих на коже (*Corynebacterium* и *Dermabacter*), и фекальной бактерии *Roseburia*, это свидетельствует о преобладании в доме мужчин. Возможно, тут сыграли роль разница в биологии кожи мужчин и женщин, в размере их тел и гигиенических привычках. Известно, например, что мужчины рассеивают вокруг себя больше бактерий, чем женщины, и *Corynebacterium* чаще встречается на мужской коже, чем на женской. В свою очередь, в домах, где много женщин, велика доля *Lactobacillus*, возможно потому, что представители этого рода составляют важную часть вагинальной микрофлоры. Таким образом, по относительному обилию определенных бактерий и грибов в доме можно с большой долей вероятности установить их источник. Эти особенности домашней микрофлоры могут быть, по мнению исследователей, полезны для судебно-медицинской экспертизы.

Если домашнее грибное окружение по какой-то причине не устраивает жильцов, Ной Фирер советует переезжать в другой дом, возможно, и в другой город. Напротив, если надо сменить бактериальную микрофлору, придется присмотреться к тем, кто живет в доме.

Barberán A. et al. The ecology of microscopic life in household dust // Proc. R. Soc. B. 2015. 282: 20151139, doi:10.1098/rspb.2015.1139