

## Естественнонаучный базис проблемы SETI: КОСМОГЕНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

А. В. Багров

Институт астрономии РАН, г. Москва, abagrov@inasan.ru

Известная формула Дрейка, предложенная для оценки числа способных вступить в контакт с нами внеземных цивилизаций, содержит два параметра, относящихся к области планетной космогонии. Один из них определяет долю звезд, обладающих планетными системами, а другой — время жизни цивилизации. За последние четверть века получила ясное астрономическое обоснование идея, что планетные системы могут формироваться только у звезд второго поколения, вещество которых содержит заметную долю тяжелых элементов. Устойчивые планетные орбиты должны быть у одиночных звезд поздних спектральных классов с малой скоростью вращения; такие звезды составляют очень малую долю населения Галактики.

Время жизни цивилизации может быть оценено как характерное время существования планеты и ее солнца, превышающее 4.5 млрд лет. Исходя из того, что земная цивилизация сформировалась именно за это время, можно считать его минимально необходимым для появления разума в условиях естественной эволюции. Фактором космического масштаба, который может уничтожить появившиеся формы жизни, является столкновение звезды или планеты с “космическим скитальцем” — потерянной другой звездной системой планетой или планетезималью. Падение крупного тела на центральное светило неизбежно вызовет вспышку губительного для всего живого жесткого излучения, а столкновение даже небольшого кометного ядра с планетой — ее глобальную катастрофу. Межзвездные скитальцы движутся со скоростью 100–150 км/с и практически недоступны ни для обнаружения на подлете, ни для мер по предотвращению столкновения техническими средствами цивилизации I типа. Уровень т.н. астероидно-кометной опасности до сих пор не известен. Проведенные автором оценки показывают, что частота столкновений планеты на краю спирали Галактики со скитальцем, приводящих к ее полному разрушению (как распад Фаэтона), составляет от 0.2 до 2.5 за 10 млрд лет. Столкновения с разрушительными для существования цивилизации последствиями (Чиксулубское падение, приведшее к гибели 95% живой массы на Земле) могут иметь место каждые 100–300 млн лет. Таким образом, ВЦ I типа следует искать возле звезд с возрастом от 4.5 до 5.0 млрд лет.

**NATURAL-SCIENCE BASIS OF SETI PROBLEM: COSMOGENIC ASPECTS, by A.V.Bagrov .** Drake’s famous formula proposed for estimating the number of extraterrestrial civilizations that are capable of coming into contact with our civilization contains two parameters pertaining to the field of planetary cosmogony. One of these parameters determines the fraction of stars possessing planetary systems and the other one, the lifetime of a civilization. Over the past quarter century the idea has received clear astronomical grounds that planetary systems may form only around second-generation stars whose matter contains an appreciable fraction of heavy elements. Stable planetary orbits are possible only around single late-type stars with low rotation velocities and such stars make up only a small fraction of the population of the Galaxy.

The lifetime of a civilization can be estimated as the characteristic time of the existence of the planet and its sun, which exceeds 4.5 billion years. Given that the terrestrial civilization formed exactly during this time, we can consider it to be the minimum time required for intelligence to develop under the conditions of natural evolution. A collision between a star or a planet and a “cosmic wanderer” — a planet or a planetesimal lost by another stellar system — is a factor of cosmic scale capable of killing all forms of life that have hitherto developed.

An impact of a large body onto the central star would inevitably produce a burst of hard radiation fatal for all living forms, and an encounter between even a small cometary nucleus and a planet would result in a global catastrophe on the latter. Interstellar wanderers move at velocities of 100–150 km/s and are virtually impossible to detect when they approach, and eventual collisions are impossible to prevent with the technology available for type I extraterrestrial civilizations. The level of the so-called asteroid-cometary danger is yet unknown. My estimates show that the frequency of collisions between a planet at the edge of a Galactic spiral arm and a wanderer leading to the complete destruction of the planet (like the disruption of Phaeton) ranges from 0.2 to 2.5 events per 10 billion years. Collisions with destructive consequences for the existence of a civilization (like the Chixulub impact, which killed 95% of the Earth biomass) may occur once every 100–300 million years. It thus follows that type I extraterrestrial civilizations are to be looked for in the vicinity of 4.5 to 5.0 billion year old stars.

## 1. Введение

До тех пор, пока не найдено ни одной внеземной цивилизации, вопрос об их существовании относится к очень зыбким научным экстраполяциям. Рассматривая физические процессы во Вселенной, мы пришли к твердому убеждению, что законы физики, действующие на Земле, действуют и во всех других ее уголках. Г.Ф.Хильми высказал очень интересное предположение о явлении жизни как антихаосогенном свойстве материального мира: *“Какое бы место ни занимала хаосогенность во Вселенной, появление жизни в ее хаосогенных областях представляет собой не случайное явление, а закономерный результат развития материи”* (Хильми, 1972).

Современные научные представления о формах существования внеземного разума однозначно базируются на сведениях о той единственной форме разумной жизни, которую представляет наша земная цивилизация (Шкловский, 1987). Все иные реконструкции основываются на чистой фантазии, лишь в ничтожной части аргументированной теми или иными частными законами химии, биофизики или социологии (Тоупнов, 2005; Simpson, 1964). Слабая научная обоснованность таких подходов привела к тому, что экзотические формы жизни всегда рассматривались только писателями-фантастами<sup>1</sup>. Известно, что многие интересные идеи сначала появляются на страницах фантастических книг, а потом становятся предметом научных исследований. Бывает, что изначально фантастические идеи становятся элементом реальности и, перестав быть фантастическими, исчезают со страниц художественной литературы. Но вот

<sup>1</sup> Не привожу конкретных ссылок, чтобы не перегружать ими статью; среди авторов, отдавших дань детальному рассмотрению живых структур весьма экзотических форм, можно отметить И.А.Ефремова, И.Росоховатского, С.Лема, К.Саймака, П.Андерсона, Х.Клементя, А.Кларка и многих других. Я только прошу не ставить этих первопроходцев пытливого мысли в один ряд с создателями космических монстров, для которых космические твари — всего лишь антураж.

фантазии, не имеющие корней в научном знании, либо забываются, либо становятся предметом околонуучных мифов. Что касается представлений о внеземных формах жизни, то они так и остались фантазиями отдельных авторов. Скучность придуманных ими форм чужого разума уже больше полвека проявляется в однообразности “зеленых человечков” — героев околонуучных уфологических изданий.

Ученые, пытавшиеся разобраться в феномене внеземной жизни, вслед за Дрейком (Drake, 1961) рассматривали и появление жизни, и возникновение разума как некие случайные события, вероятность реализации которых может быть оценена методами статистики (Sagan, 1961; Shklovskii, 1963).

Одной из первых попыток такого рода стала формула Дрейка:

$$N_c = N \cdot q_1 \cdot q_2 \cdot P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot f(\tau),$$

где  $N$  — число звезд в некоторой области Вселенной;  $N_c$  — число цивилизаций в этой же области,  $q_1$  — доля звезд, обладающих планетными системами;  $q_2$  — доля планет с подходящими для возникновения жизни условиями;  $P_1$  — вероятность возникновения жизни на планете с подходящими условиями;  $P_2$  — вероятность того, что на имеющей жизнь планете возникнут ее разумные формы;  $P_3$  — вероятность появления технически развитой цивилизации, проявляющей себя в космических масштабах;  $f(\tau)$  — фактор “выживания” на стадии высокотехнической цивилизации, то есть оценка числа ВЦ, с которыми в настоящее время мы смогли бы установить контакт с помощью имеющихся у нас средств. Если  $\tau$  сопоставимо с возрастом звезд  $T$ , то  $f(\tau) = 1$ ; если  $\tau \ll T$ , то  $f(\tau) = \tau/T \ll 1$ .

Взгляды на величину  $f(\tau)$  развил Н.С.Кардашов, разделивший гипотетические ВЦ по уровню используемой ими энергии на три типа: ВЦ I типа овладели энергией в планетарном масштабе, ВЦ II типа овладели полным энергетическим потоком от своей звезды, ВЦ III типа используют энергию на уровне светимости

Галактики.

Несмотря на спорность и некоторую искусственность оценок Дрейка, они до сих пор остаются и единственным способом подсчета числа ВЦ, и источником недоумения. Если исходить из того, что возникновение жизни — неизбежный этап эволюции Вселенной, то даже при самых осторожных оценках число ВЦ должно быть весьма большим, но ни одной из них пока не обнаружено.

По-видимому, антропный принцип имеет намного более глубокое значение, чем принято думать. Отражаемая им глубинная связь между фундаментальными свойствами Вселенной, скорее всего, проявляется в детерминированности и хронологической последовательности эволюции материи. Другими словами, этапы эволюции как неживой, так и живой материи не являются случайными, и к ним нельзя подходить с вероятностных позиций. В основе формулы Дрейка лежат некоторые космогонические факторы, поэтому их анализ может оказаться определяющим в понимании условий возникновения жизни и ее эволюции до уровня ВЦ.

## 2. Планетная космогония

Несмотря на двухвековые попытки построить космогонический сценарий, который не противоречил бы наблюдениям, его пока нет. Хотя некоторые космогонические представления уже можно считать твердо установленными.

Во-первых, не вызывает сомнения, что большая часть звезд нашей Галактики принадлежит второму поколению, то есть изначально имеет в своем составе тяжелые элементы. Благодаря этому в их недрах реализуется углеродный цикл горения водорода, что обеспечивает как возможность появления маломассивных звезд, так и большую продолжительность их жизни (Сурдин, 2001). Примерно половина звезд Галактики является коричневыми карликами с очень малой массой.

Звезды второго поколения формируются из протозвездного диска, часть которого в виде протопланетного облака остается на околозвездных орбитах. В том случае, если момент вращения диска меньше  $5 \cdot 10^{53} \text{ г} \cdot \text{см}^2 / \text{с}$ , из протозвездного облака формируется одна звезда. Вокруг медленно вращающейся звезды остается гравитационно связанное с ней вещество протопланетного диска.

В рамках известной космогонической гипотезы О.Ю.Шмидта (1957), получившей детальное развитие в работах В.С.Сафронова (1969), предполагается, что на допланетной стадии эволюции протопланетного диска в нем происходит дифференциация вещества по химсоставу под действием солнечного излучения. Вблизи Солнца оставались

только тугоплавкие пылинки, а за орбитой Юпитера конденсировались летучие соединения. Это привело к возникновению вблизи Солнца сильно отличающихся друг от друга планет — планет земного типа и планет-гигантов. Теоретические модели концентрации вещества диска в планеты, построенные с учетом наблюдающихся свойств Солнечной системы, приводят, естественно, к космогонии, описывающей процесс формирования планетных систем у других звезд, полностью идентичный околозвездному (Сафронов, 1991). Поэтому коэффициенты  $q_1$  и  $q_2$  в формуле Дрейка представляются скорее близкими к 1, чем ничтожно малыми.

Далее выводы классической космогонии не распространяются.

Автор выдвинул гипотезу, согласно которой формирование планет происходит на дозвездной стадии эволюции протозвездного/протопланетного облака. После формирования центральной звезды ее излучение быстро рассеивает вещество околозвездного диска, и дальнейшее формирование планетных тел прекращается (Багров, 2003). В то же время излучение коричневых карликов не в состоянии быстро удалить из своих систем вещество протопланетных дисков, и формирование тел в них идет до тех пор, пока все вещество, кроме водорода и гелия, не сконденсируется в планетезимали. В периферийных частях протопланетного диска должно формироваться множество малых тел, поскольку время их слияния в единую планету оказывается большим, чем время существования диска. Парные сближения звезд (особенно в областях звездообразования, где их плотность высока) приводят к потере заметной части этих тел. В результате появляются “межзвездные скитальцы” — планетезимали, потерявшие связь с родительской звездой. Именно они являются важнейшим хаосогенным фактором эволюции любых форм жизни.

## 3. Жизнь и хаосогенные космические факторы

Живые структуры, существующие в хаосогенной среде, могут выжить лишь в том случае, если уровень разрушительных внешних воздействий не превышает возможностей живых структур противостоять им. Обычно рассматриваются только такие ситуации, при которых это условие выполняется. При этом подразумевается, что нет факторов, способных *ликвидировать* жизнь после ее возникновения. В общем-то этот подход вполне обоснован житейским опытом. Звезды типа Солнца имеют большую продолжительность жизни и их эволюция не сопровождается катаклизмическими

нестабильностями. Планеты не обладают запасами аккумулированной энергии, достаточными для глобальных изменений условий на них. Все катастрофические проявления природных сил имеют локальный характер (землетрясения, вулканические извержения, цунами) или сильно растянуты во времени (оледенения, движения материков, изменения ландшафтов), что не может роковым образом сказаться на существовании жизни на планете в целом. Однако в этом подходе исключены из рассмотрения хаосогенные факторы космического масштаба. Для их учета в формуле Дрейка даже не предусмотрен множитель.

Самым важным, на наш взгляд, хаосогенным космическим фактором является побочный продукт возникновения планетных систем — межзвездные скитальцы. Теоретически взаимодействие со звездным населением Галактики должно было бы привести к выравниванию их кинетической энергии и энергии звезд. На самом деле, кинетическая энергия скитальцев не может расти до больших значений из-за особенностей структуры планетезималей: эти тела, по современным представлениям, состоят из смерзшегося конгломерата тугоплавкой пыли с летучими соединениями и газами. Скитальцы обладают малой прочностью и неизбежно разрушаются приливными силами при близких прохождениях около звезд, поэтому их средние скорости едва ли превышают 200 км/с. В то же время массы межзвездных скитальцев могут быть весьма большими — от  $10^{14}$  до  $10^{21}$  кг. Кинетическая энергия такого тела настолько велика, что его прямое столкновение с планетой может вызвать глобальную катастрофу. Падение 10-километрового скитальца вызовет серьезные разрушения поверхности планеты и губительные для высших форм жизни изменения климата, а столкновение со 100-километровым приведет к полному разрушению коры планеты и гибели всего живого в разливах магмы. В истории Солнечной системы имело место столкновение скитальца 1000-километрового размера с планетой Фаэтон, что привело к полному ее разрушению.

Столкновения планет с космическими скитальцами носят чисто случайный характер, а промежутки времени между ними могут составлять сотни тысяч и миллионы лет. Подобные факторы не могут быть отслежены эволюцией живых систем, не обладающих разумом. На стадии разумной жизни осознание существования губительных космических факторов должно привести к выработке механизма защиты от них (противодействия).

#### 4. Столкновения с межзвездными скитальцами

В истории Земли можно найти прямые и косвенные свидетельства падений космических скитальцев на нашу планету и их воздействия на темпы эволюции жизни. Кора Земли сформировалась в восстановительной (лишенной окисляющих газов) атмосфере, а уже через 300 млн. лет после формирования планеты на ней появилась кислородная атмосфера (Резанов, 1995). Кислород имеет биогенное происхождение, следовательно, жизнь на Земле возникла практически одновременно с планетой (Резанов, 2001). Однако первые окаменелости появляются только через 3.5 млрд. лет после возникновения планеты Земля. На наш взгляд, большая продолжительность эволюции от самых примитивных до чуть более структурированных форм жизни косвенно свидетельствует о наличии глобальных катастроф, при которых выживали лишь самые примитивные организмы.

Сейчас является общепринятым представление о большом влиянии падений астероидов на эволюцию жизни. Последний случай относится к глубокой смене биоценоза 60 млн. лет назад в результате падения космического тела в районе нынешнего Мексиканского залива (Чиксулубское падение, с которым связывается СТ<sup>2</sup>-период). На поверхности Земли обнаружены следы двух десятков таких падений в виде *астроблем* — кратеров ударного происхождения до 200 км диаметром (“Угроза с неба”, 1999). Поскольку ни в одном из них не было обнаружено метеоритного вещества, можно считать, что породившие их тела представляли собой кометные ядра, не содержащие крупных вкраплений тугоплавких веществ. Проще всего предположить, что именно космические скитальцы ответственны за появление астроблем и скачков в эволюции земных форм жизни.

Межзвездные скитальцы пока еще не обнаружены, хотя задача их поиска уже поставлена (Багров и др., 2003). Тем не менее, можно попытаться получить оценки их численности из общих космогонических представлений.

Полагая, что основным “поставщиком” межзвездных скитальцев должны быть коричневые карлики, примем число последних в нашей Галактике равным  $10^{11}$ . Массу протозвездного облака, из которого формируется коричневый карлик и его планетная система, положим равной 1 массе Солнца (при больших массах облака должны формироваться звезды большей массы, а существенно менее массивные облака не могут конденсировать-

<sup>2</sup> Cretaceous-Tertiary (extinction) — массовое вымирание земной биоты на границе мелового и третичного периодов.

ся в силу критерия Джинса). Только 25% массы приходится на звезду, остальное вещество остается в протопланетном диске, гравитационно связанном с коричневым карликом. Полагая, что химсостав облака близок к солнечному, и не более 2% его вещества состоит из тяжелых элементов, получаем для общей массы планетной системы  $10^{30}$  г. Число планетезималей в ней размером 10 км может составлять до  $10^9$ . Если хотя бы 10% из них становится межзвездными скитальцами, то общее их число в Галактике может доходить до  $10^{17}$ , а плотность — до  $10/(a.e.)^3$ . Двигаясь со скоростью 100 км/с, они раз в 1 млн. лет могут сталкиваться с планетой размером с Землю. Приведенная оценка является мажорантной, на самом деле близкие прохождения скитальцев возле звезд приводят к их распаду и испарению. Тем не менее она поразительно близка к частоте падений крупных тел на Землю, определенной из геологических данных.

## 5. Темпы эволюции разумной жизни и частота космических катаклизмов

Как показывает история жизни на Земле, время формирования разума составляет не менее 65 млн. лет после катаклизма, при котором высшие формы жизни еще сохранились. Формирование новых видов после катастрофы не приводит к появлению защитного механизма от ее хаосогенного воздействия. Можно сказать, наоборот, — формирование цивилизации приводит к более глубокой зависимости от стабильности среды ее обитания, несмотря на расширение ее экологических границ. Поэтому можно утверждать, что порог выживания новой формы жизни сначала оказывается ниже такового для предшествующих форм. Примитивные млекопитающие смогли успешно пережить последствия СТ-события, но современные виды высших млекопитающих обречены на вымирание при падении астероида размером всего 1–2 км. Это связано как с сокращением границ типических ареалов для неразумных видов, так и с неустойчивостью инфраструктуры цивилизации относительно стихийных воздействий.

Ход развития нашей цивилизации таков, что мы постепенно увеличиваем свои возможности противостояния воздействию стихийных явлений. Видимо, через столетие человечество сможет уверенно предсказывать землетрясения, цунами, экологические последствия своей деятельности и других глобальных факторов. Но сколько потребуется времени, чтобы наша цивилизация достигла уровня ВЦ I типа по Кардашову для противодействия космическим факторам, пока не ясно. Однако сам

характер эволюции жизни как антихаосогенного явления таков, что со временем мы постепенно научимся преодолевать последствия падений космических тел, научимся своевременно обнаруживать их приближение и отводить возможные удары по нашей планете. Вопрос состоит только в том, отпущено ли нам достаточно времени на это.

Пока цивилизация находится на уровне развития, не достаточном для выработки средств защиты от хаосогенного воздействия космоса, она остается чрезвычайно уязвимой. Видимо, в областях Галактики с высокой плотностью звезд частота падений скитальцев на обитаемые планеты может оказаться слишком высокой, чтобы эволюция успела создать более развитые формы, способные выживать в катастрофах. Даже наша цивилизация сейчас абсолютно не защищена от возможных ударов из космоса. Поэтому фактор  $P_2$  из формулы Дрейка — вероятность того, что на имеющей жизнь планете возникнут разумные формы, следует уточнить, исходя из уровня развития ВЦ. Если темпы эволюции цивилизации позволяют ей подняться над уровнем разрушения в результате хаосогенного воздействия космоса, то цивилизация будет существовать и развиваться, вырабатывая способность преодолевать негативные влияния среды все более возрастающих масштабов. Можно детализировать определение ВЦ I типа как цивилизации, чей уровень развития позволяет преодолевать хаосогенные воздействия планетарных масштабов.

## 6. Выводы

Анализ космогонических факторов, формирующих опасные воздействия на развитие жизни и космических цивилизаций в частности, позволяет полагать, что ВЦ, которые способны себя проявить, следует искать возле звезд второго поколения с малой скоростью вращения и массой порядка солнечной. Возраст звезд с обитаемыми планетами должен быть порядка 4.5 млрд. лет, и они должны находиться в областях Галактики с малой плотностью звезд. Возможно, что отсутствие наблюдаемых ВЦ в Галактике обусловлено и губительными столкновениями обитаемых планет с межзвездными скитальцами.

## Список литературы

Багров А.В., Выгон В.Г., Бондарь С.Ф., 2003, Задачи оперативных наблюдений тел естественного происхождения, движущихся через околоземное космическое пространство, Околосземная Астрономия,

- Труды конференции, Терскол, 8-13 сент. 2003, Институт астрономии РАН, СПб.: ВВМ, т.2, с.29-41
- Багров А.В., 2003, Планета Ольберса: история еще не закончена! Историко-астрономические исследования, отв.ред. Г.М.Идлис, М.: Наука, вып. 28, с.72-83
- Резанов И.А., 1995, О происхождении и ранней эволюции Земли по данным геологии, Тихоокеанская геология, No.2712, с.139-144
- Резанов И.А., 2001, Условия возникновения жизни в Солнечной системе, Вестник РАН, No.2714
- Сафронов В.С., 1969, Эволюция допланетного облака и образование Земли и планет, М.: Наука
- Сурдин В.Г., 2001, Рождение звезд, М.: УРСС
- Топунов А.Ф., 2005: <http://www.kp.ru/daily/23598/45739/>
- Угроза с неба: рок или случайность? Под ред. А.А.Боярчука, М.: Космосинформ, 1999, 220 с. (ISBN 5-900242-34-х)
- Хильми Г.Ф., 1972, Хаос и жизнь, сб. "Населенный космос", ред. Константинов Б.П. и Пекелис В.Д., М.: Наука, с.33-49
- Шкловский И.С. 1987, Вселенная, жизнь, разум, 6-е изд., М.: Наука
- Шмидт О.Ю., 1957, Четыре лекции о теории происхождения Земли, М.: Изд-во Академии Наук, 140 с.
- Bagrov A.V., 2001, Astronomical problems of the Earth protection against dangerous asteroids, Proceedings of IV ISTC Scientific Advisory Committee Seminar on "Basic Science in ISTC Activities", Academgorodok, Novosibirsk, April 23-27, Novosibirsk: Budker Inst. of Nuclear Physics SB RAS, p.285-291
- Drake F.D., 1962, Intelligent Life in Space. Macmillan, New York, 128 pp.
- Edgeworth K.E., 1949, The origin and evolution of the Solar System, MNRAS, **109**, 600-609
- Safronov V.S., 1991, Kuiper prize lecture: Some problems in the formation of the planets, Icarus, **94**, No2, 60-271
- Sagan C., 1961, On the origin and planetary distribution of life, Radiation Res., **15**, 174-192
- Simpson G.G., 1964, The nonprevalence of Humanoids. Science, **143**, 769-775
- Shklovskii I.S., 1963, Is communication possible with intelligent beings on other planets? Interstellar communications, A.G.W.Cameron, ed. W.A.Benjamin, Inc., New York, 5-16