

## 6

# Является ли гипотеза панспермии только переносом вопроса о происхождении жизни «в другое место»?

А. Д. Панов

*Панспермия может означать не только перенос проблемы происхождения жизни «в другое место», как это часто считается, но и другой механизм ее возникновения, который увеличивает вероятность зарождения жизни на много порядков величины по сравнению с предбиологической эволюцией на любой изолированной планете и приводит к почти одновременному появлению жизни на одной молекулярно-биологической основе сразу на многих планетах Галактики.*

**Ключевые слова:** панспермия, аблиогенез, спонтанная самосборка, Галактика, SETI.

В выпуске альманаха «Эволюция» за 2013 г. (Эволюция... 2013) опубликована весьма любопытная статья В. А. Анисимова «Гипотеза земного аблиогенеза в свете данных палеонтологии, молекулярной биологии и анализа состава молекул РНК» (Там же: 14–31). В ней на основе обратной экстраполяции зависимости от времени «минимальной длины генома» в отдаленное прошлое аргументируется точка зрения, согласно которой геологическая история Земли просто не могла по времени вместить абиотическую предбиологическую эволюцию, которая должна была привести к появлению жизни, поэтому место протекания предбиологической эволюции должно находиться где-то вне Земли и Солнечной системы. Следовательно, на Землю жизнь должна была быть занесена из космоса в процессе межзвездной панспермии. Законность использованной экстраполяции является явным предположением, поэтому и все содержание статьи, естественно, не имеет характера доказательства, но представляет собой только развернутую гипотезу.

Публикация статьи В. А. Анисимова в цитированном выпуске альманаха «Эволюция» сопровождается критическими замечаниями-комментариями двух докторов биологических наук – А. В. Маркова (Там же: 32–34) и Н. Н. Иорданского (Там же: 35–37). В обоих комментариях вполне спра-

ведливо отмечается гипотетический характер используемой В. А. Анисимовым экстраполяции, но помимо этого приводятся и возражения против гипотезы панспермии, которые имеют, можно сказать, методологический характер. С этими возражениями мы не можем согласиться в полной мере, о чем и пойдет речь в статье.

А. В. Марков пишет, что одной из широко распространенных причин неприятия гипотезы внеземного абиогенеза научной общественностью является стремление не плодить сущности без необходимости: «Если Земля – пока единственное место во Вселенной, где обнаружена жизнь, то естественно предположить, что здесь она и родилась» (Эволюция... 2013: 32). Иными словами, гипотеза происхождения жизни должна выбираться по «принципу простоты», и именно гипотеза земного происхождения жизни является «наиболее простой».

Следует согласиться с А. В. Марковым в том, что названная причина неприятия внеземного абиогенеза действительно распространена весьма широко. Однако мы хотели бы обратить внимание на то, что «аргумент от простоты» в использованной форме содержит, по сути, логическую ошибку или как минимум существенную долю субъективности в отношении оценки того, что считать простотой. Гипотеза земного происхождения жизни здесь рассматривается как самая простая по умолчанию, без обсуждения, но в действительности существуют, в определенном смысле, еще более простые гипотезы, при этом вполне научные.

Действительно, если известная нам жизнь имеет земное происхождение, то необходимо предполагать, что на Земле имела место достаточно сложная абиогенная эволюция, которая и привела к возникновению первых сложных самореплицирующихся молекул. Неизбежной является *дополнительная* гипотеза о существовании сложной абиогенной эволюции, так как в условиях Земли простая «случайная самосборка» достаточно сложных самореплицирующихся молекул из отдельных элементарных блоков исключена по вероятностным соображениям (на это не хватает времени, отпущенного на предбиологическую эволюцию в истории Земли, причем не хватает на огромное количество порядков). Однако, как показал В. А. Мазур (2010: 183–187), в рамках практически любых инфляционных космологических сценариев объем эволюционирующего пространства, содержащего обычную материю в форме звезд, планет и т. д., оказывается столь велик («инфляционно велик», по терминологии В. А. Мазура), что вероятность возникновения где-то в этом гигантском объеме первой живой молекулы *без всякой предварительной предбиологической эволюции*, путем чисто случайной самосборки, причем в первые же секунды после того, как для этого возникнут подходящие условия (температура и т. д.), чрезвычайно

близка к единице<sup>1</sup>. С практической точки зрения это просто заведомо достоверное событие. Эта гипотеза *проце* гипотезы земного происхождения жизни в том отношении, что она не требует дополнительного предположения о существовании нетривиальной абиотической эволюции для появления всего живого. Правда, если предположить, что никаких других способов возникновения жизни кроме случайной самосборки не существует, то и вероятность обнаружения наличия жизни вблизи случайной наперед заданной точки пространства в инфляционной космологии оказывается исчезающе малой. Это, однако, не является аргументом против того, что наблюдаемая нами жизнь возникла именно таким чисто случайным способом. Если мы существуем, значит, просто мы являемся свидетелями реализации такого маловероятного события, вот и все. Поясним мысль простым примером. Бесполезно задавать, например, вопрос: какова вероятность того, что планета Земля оказалась пригодной для жизни? Если бы Земля была непригодной для жизни, некому было бы задать этот вопрос. При этом очевидно: Земля не является типичной планетой в том смысле, что при выборе планеты наугад планета типа Земли попадется лишь с малой вероятностью. Если бы Земля была типичной планетой, то на большинстве планет Солнечной системы была бы высокоорганизованная жизнь, чего заведомо нет. Любая аргументация, основанная на таких «экзистенциальных» вероятностях, лишена смысла, так как лишены операционального смысла сами эти экзистенциальные вероятности.

Заметим, что в рамках механизма спонтанной самосборки жизни практически везде в обозримом космосе (в Метагалактике) кроме непосредственно того места, где произошла самосборка, жизнь может появиться только в результате панспермии. Если мы действительно наблюдаем жизнь, возникшую в результате самосборки, то с вероятностью очень близкой к единице именно на нашей планете жизнь появилась в результате панспермии. Иными словами, формально наиболее простая гипотеза происхождения жизни (в результате спонтанной самосборки) ведет к практически неизбежному следствию, что на Земле-то жизнь появилась именно в результате панспермии. Гипотеза самосборки имеет также одно проверяемое (в принципе) следствие: где бы в Галактике ни была обнаружена жизнь, она будет существовать на одной универсальной молекулярно-биологической основе (например, в смысле генетического кода), так как два независимых случайных события самозарождения жизни в пределах Галактики (да и вообще в видимой части Вселенной) можно полностью исключить (это показывают простые вероятностные оценки).

---

<sup>1</sup> Необходимо отметить, что инфляционная космология не только очень хорошо подтверждается наблюдениями, она дала нетривиальные предсказания, часть из которых тоже уже была подтверждена, а часть сформулирована, но ждет проверки. Инфляционная космология как таковая в настоящее время получила статус «стандартной модели», хотя далеко не все детали инфляционного сценария ясны, они продолжают изучаться.

Хотя по чисто формальным признакам гипотеза спонтанной самосборки жизни проще, чем гипотеза возникновения жизни в результате нетривиальной предбиологической эволюции на Земле (в первом случае требуется меньшее число предположений), автор настоящей статьи вовсе не утверждает, что ему симпатичнее именно эта более простая гипотеза, и, тем более, что нужно сосредоточиться только на ее изучении. Вывод из приведенного нехитрого анализа состоит лишь в том, что нельзя переоценивать значение принципа простоты, так как в понимании простоты может оказаться слишком много субъективного или оно может оказаться основанным просто на недоразумении (что, по мнению автора, имеет место в случае с возникновением жизни на Земле). Поэтому гипотеза панспермии должна рассматриваться наравне с гипотезой о возникновении жизни на Земле, которая сама по себе вовсе не является «самой простой».

Другое возражение философски-методологического характера против гипотезы панспермии приведено в заметке Н. Н. Иорданского (2013: 35): «Гипотеза панспермии, которую поддерживает в своей статье В. А. Анисимов, по сути дела, игнорирует саму проблему происхождения живых существ из компонентов неживой материи, просто подменяя ее предположением о заносе каких-либо зачатков жизни на Землю из космоса. По отношению собственно к проблеме происхождения жизни эта идея изначально является совершенно неплодотворной». Иными словами, гипотеза панспермии не может иметь отношения к проблеме происхождения жизни, но только переносит решение этой проблемы в какое-то неопределенное «другое место» на просторах Вселенной.

На первый взгляд возражение совершенно неотразимо. Однако уже чуть более внимательный взгляд на него показывает, что оно несколько поверхностно. Действительно, даже в рамках гипотезы космологической спонтанной самосборки жизни В. А. Мазура, предполагающей появление жизни на Земле именно в результате панспермии, проблема происхождения «живых существ из компонентов неживой материи» не *игнорируется*, а просто *снимается*: для спонтанной самосборки не требуются никакие специальные механизмы эволюции, самосборка с неизбежностью должна иногда иметь место где-то на бескрайних просторах инфляционной вселенной. Уже отсюда видно, что гипотеза панспермии может означать некоторые нетривиальные возможности, которые даже не могут рассматриваться в рамках земной гипотезы происхождения жизни. Однако с аргументом Н. Н. Иорданского трудно согласиться и по другой, гораздо более глубокой причине.

Мы сейчас покажем, что гипотеза панспермии *вовсе не обязательно* является только переносом проблемы происхождения жизни с Земли в «другое место», но может означать включение *других механизмов* абиотической предбиологической эволюции, которые просто не имеют смысла в рамках «земной гипотезы» и ведут к очень нетривиальным следствиям. Так что никакой подмены проблемы нет, и гипотеза панспермии может быть вполне плодотворной.

Предположим, что жизнь возникает в процессе естественной химической предбиологической эволюции (мы исключаем происхождение той жизни, которую наблюдаем, в процессе спонтанной самосборки В. А. Мазура). Никто пока не может оценить «естественную» продолжительность предбиологической эволюции на одиночных планетах земного типа исходя из первых принципов или на основе эксперимента. По этой причине мы свободны предположить, что такая естественная шкала длительности абиогенной эволюции очень велика – настолько, что никак не может уместиться в геохронологическую историю Земли. Мы подчеркиваем, что это лишь предположение, но оно не является совершенно произвольным. Такое предположение следует уже из анализа В. А. Анисимова, основанного на обратных экстраполяциях зависимости длины генома от времени, но к нему можно прийти и на основе совсем простого наблюдения. Действительно, эволюция первых фаз существования жизни на Земле (первобытная прокариотная биосфера, одноклеточная эукариотная биосфера) была очень медленной, по крайней мере в отношении качественных изменений биосферы как целого (миллиарды лет). По мере роста эволюционного уровня биосферы (многоклеточные, позвоночные и т. д.) скорость эволюции все возрастала. Так, например, многоклеточные получили массовое распространение только в ходе Кембрийского взрыва около 570 млн лет назад (Розанов 2003: 41), в то время как преимущественно одноклеточная биосфера существовала до этого целых три миллиарда лет. То есть чем выше эволюционный уровень системы, тем быстрее она эволюционирует. Но химическая абиотическая эволюция – это эволюционный уровень, предшествующий жизни, поэтому более примитивный, чем любые фазы развития собственно биосферы. Следовательно, по аналогии для абиотической эволюции можно ожидать еще более медленного темпа изменений, чем для первых фаз эволюции жизни. Ожидаемая длительность таких абиотических фаз – многие миллиарды или даже десятки миллиардов лет, которые действительно не могут быть размещены в геологической истории Земли.

Если предположение об очень длительной шкале естественной предбиологической эволюции верно, то, следовательно, жизнь не могла возникнуть на Земле, а могла попасть сюда только в результате панспермии. Откуда же она взялась вне Земли? Тривиальным ответом на этот вопрос могло бы быть возникновение жизни на планете, где в отличие от Земли имелось достаточно времени для протекания предбиологической химической эволюции. Но даже для самых ранних планет Галактики на предбиологическую эволюцию не может быть отведено более приблизительно 8 миллиардов лет (учитывая возраст Галактики и время появления жизни на Земле), а действительность может быть такова, что «естественная» шкала предбиологической эволюции превышает (или даже многократно превышает) этот максимальный срок. Как же тогда в Галактике вообще

могла возникнуть жизнь? Возможный ответ состоит в том, что местом предбиологической эволюции была не какая-то отдельная планета, но вся Галактика в целом, как единая система, и это обстоятельство могло многократно ускорить абиогенную эволюцию<sup>2</sup>. Как это может быть? Механизм такой общегалактической предбиологической эволюции существенным образом включает процесс панспермии.

Как мы уже видели, если естественная шкала времени предбиологической эволюции велика, то жизнь на Земле могла появиться только в результате панспермии, таким образом, панспермия жизни заведомо возможна. Так как продукты предбиологической химической эволюции должны быть менее чувствительны к трудностям космического путешествия (жесткое излучение, холод, вакуум), чем любая биологическая система, то тем более должна быть возможна панспермия абиогенных продуктов предбиологической эволюции – предбиологическая панспермия. Возможность предбиологической панспермии приводит к интересным следствиям.

Начнем обсуждение со следующего вопроса: какова типичная шкала времени для распространения предбиологической (или биологической) «инфекции» по Галактике?

Уточним сначала некоторые детали механизма панспермии. Предположим, вопрос касается распространения некоторого биологического или предбиологического продукта, характеризующегося высокой гибкостью и конкурентоспособностью по сравнению с другими подобными системами. Попав на планету, пригодную для адаптации, такой продукт может быстро (за тысячи, сотни лет или даже быстрее) распространиться по всей планете, вытесняя более слабые местные системы. В результате планета сама становится источником панспермии такого продвинутого продукта эволюции. Родительская звезда этой планеты будет окружена облаком «инфекции», содержащим соответствующий продукт эволюции. Здесь надо пояснить, что с поверхности планеты биологические или предбиологические продукты могут попадать в космос вместе с осколками породы, выбиваемыми с планеты крупными метеоритами (известны такие марсианские метеориты), а идеальным переносчиком «инфекции» могут быть рыхлые ядра комет (Язев 2007: 100–105), которые сами могут заражаться такими инфицированными осколками породы или даже принимать активное участие в предбиологической эволюции. Внутри ядер комет биологические или предбиологические системы, во всяком случае, надежно защищены от жесткого космического излучения, и, попадая на поверхность

---

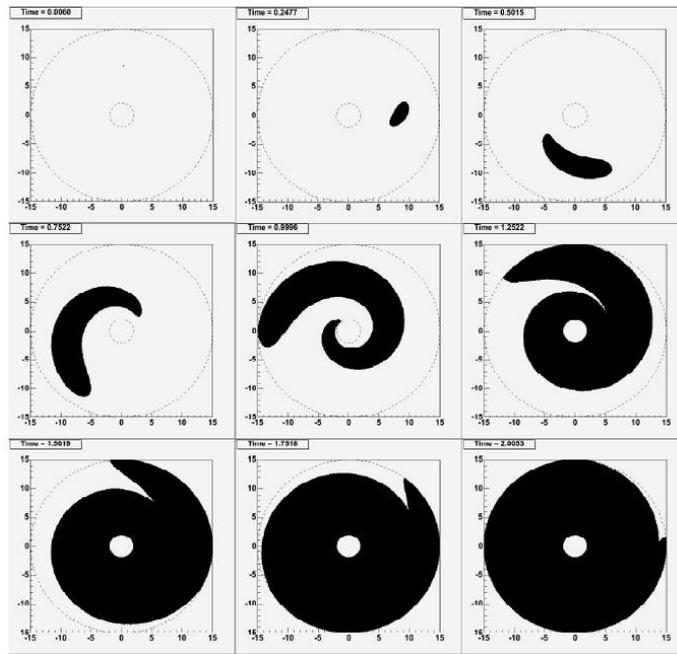
<sup>2</sup> Рассматриваемый ниже механизм предбиологической панспермии и когерентной общегалактической предбиологической эволюции принадлежит автору настоящей статьи, но наблюдение, что такая эволюция может быть во много раз быстрее планетарной, принадлежит Г. А. Скоробогатову (частное сообщение, 2004).

других планет, они могут переносить космическую инфекцию на очень большие, в том числе и межзвездные, расстояния.

Если родительская инфицированная звездная система пролетает неподалеку от другой звезды, последняя может быть заражена инфицированным облаком и сама станет источником панспермии. Скорость распространения «инфекции» по космосу будет определяться пекулярной скоростью звезд. Распространение волны панспермии не будет иметь диффузионного характера, но будет иметь характер распространения автоволнового процесса с некоторой средней постоянной скоростью, примерно так, как распространяются эпидемии. Типичная скорость пекулярного хаотического движения звезд имеет решающее значение. Ее величина – масштаба 30 км/сек – и есть типичная скорость волны панспермии в Галактике.

Для моделирования волны панспермии может быть использован принцип Гюйгенса. Каждая точка Галактики, до которой дошла волна панспермии, сама становится источником сферической волны, распространяющейся со скоростью 30 км/сек. Конечно, такая модель содержит много упрощений. Так, например, типичные пекулярные скорости различны для разных расстояний от центра Галактики и т. д. Но модель вполне пригодна для получения грубой оценки шкалы времени процесса.

На Рис. показаны результаты численного моделирования волны панспермии, распространяющейся через Галактику, с учетом дифференциального характера вращения последней. Можно видеть, что из-за дифференциального характера вращения процесс охвата Галактики волной панспермии полностью завершен за два галактических года (один галактический год – период обращения Солнца вокруг центра Галактики – равен 216 миллионам лет), а 70 % Галактики заселено за 300 миллионов лет. Это и есть характерное время галактической панспермии. Возможно, правильнее было бы даже считать таковой несколько меньшую величину – один галактический год. Это подчеркивало бы то, что именно дифференциальное вращение Галактики является определяющим фактором для формирования шкалы времени панспермии. 300 миллионов лет – это, скорее, верхняя граница оценки шкалы времени панспермии.



**Рис.** Численная модель распространения волны панспермии по галактическому диску. Время на рисунке указано в галактических годах. Последовательные времена, соответствующие приведенным фазам эволюции волны, есть (слева направо и сверху вниз): 0.0060, 0.2477, 0.5015, 0.7522, 0.9996, 1.2522, 1.5019, 1.7518, 2.0053. Галактика вращается против часовой стрелки. В качестве начальной точки для волны панспермии выбрано реальное положение Солнца в Галактике (8,5 кпс от центра)

Таким образом, мы имеем две шкалы времени: одна – длинная,  $\tau_{\text{chem}} \sim 10^{10}$  лет (или больше), это масштаб естественной длительности химической предбиологической эволюции на изолированных планетах, другая – короткая,  $\tau_{\text{pansp}} \sim 0.3 \times 10^9$  (или меньше), это масштаб продолжительности галактической панспермии. Из существования этих двух очень различающихся шкал времени следует, что предбиологическая химическая эволюция на отдельных планетах не могла протекать независимо от других планет, так как каждая планета находится под непрерывным давлением гораздо более быстрого, чем местные процессы предбиологической эволюции, инфицирования со стороны всей остальной Галактики.

Предположим, что некоторая конкурентоспособная предбиологическая система случайно появляется на некоторой планете, находящейся

в стадии предбиологической эволюции. Затем в течение короткого времени, порядка  $\tau_{\text{pansp}}$ , эта предбиологическая система распространяется по большей части объема Галактики, вытесняя менее эффективные локальные предбиологические системы благодаря механизму обычного естественного отбора. Благодаря условию  $\tau_{\text{pansp}} \ll \tau_{\text{chem}}$  этот процесс должен синхронизировать (с точностью  $\tau_{\text{pansp}}$ ) предбиологическую эволюцию во всем объеме Галактики. В результате жизнь в конце концов появляется почти одновременно на всех планетах в Галактике, имеющих подходящие условия для ее существования, на одной молекулярной основе (в смысле основ генетического кода и др.) и с одной и той же киральностью. Таким образом, предбиологическая химическая эволюция и возникновение жизни благодаря панспермии может быть самосогласованным коллективным процессом в масштабе всей Галактики, но не процессом, локализованным на отдельных планетах.

Если механизм самосогласованной абиотической галактической эволюции действительно работает, тогда вскоре после того, как жизнь где-то появилась в первый раз, в Галактике должен был иметь место гигантский взрыв населенности планет жизнью. После этого жизнь уже нигде не могла возникнуть в процессе естественной планетарной абиогенной эволюции, так как естественные предбиологические процессы неконкурентоспособны по сравнению с гораздо более быстрым процессом заражения планеты через панспермию. Как только на планете складываются условия, пригодные для жизни, она немедленно оказывается инфицированной из космоса. Возможно, именно это и произошло на Земле, чем и объясняется невероятно быстрое распространение жизни после появления воды в жидком состоянии.

Теперь заметим, что механизм предбиологической панспермии не только синхронизирует абиотическую эволюцию по всей Галактике, но и может существенно ускорять ее по сравнению с абиотической эволюцией на изолированных планетах. Действительно, если эффективный процесс предбиологической панспермии возможен, тогда любой случайный успех предбиологической эволюции на одной из порядка  $10^9$  планет Галактики (или даже больше), где может идти предбиологическая эволюция, становится достоянием и всех остальных планет практически немедленно (точнее, за характерное время  $\tau_{\text{pansp}}$ ). Другими словами, вероятность такого события по сравнению с эволюцией на отдельной планете увеличивается в  $10^9$  раз (или даже больше)! Следующее удачное случайное событие произойдет уже совсем на другой планете и снова почти немедленно станет достоянием всех. И т. д. Таким путем скорость предбиологической эволюции увеличивается в миллиард раз или около того по сравнению с тем, что имело бы место на отдельной планете. Следовательно, даже если самопроизвольное зарождение жизни на отдельных планетах крайне маловероятно по причине чрезвычайно большой естественной планетарной

шкалы времени абиотической эволюции, оно может стать вполне возможным в общегалактическом когерентном процессе.

В заключение заметим, что описанный выше механизм самосогласования предбиологической эволюции на уровне Галактики может быть только частью реально действующего механизма. Хорошо известно, что синтез сложных органических соединений может происходить не только на поверхности планет, но и в космосе, в молекулярных облаках. Не вызывает сомнений, что химические процессы в водном растворе при нормальной температуре протекают гораздо быстрее, чем в условиях космоса, но и масса эволюционирующего вещества (H, C, N, O), заключенная в молекулярных облаках, на много порядков превосходит массу органического вещества на поверхности всех планет Галактики, вместе взятых. В случае планет имеются как бы единичные «быстрые» химические процессоры, а в космосе имеется намного более медленный, но многократно распараллеленный процессор. Поэтому предбиологическая эволюция в космическом пространстве может оказаться в каких-то отношениях не менее эффективной, чем на поверхности планет. Роль химических реакторов предбиологической эволюции могут выполнять и кометы (см. цитированную выше статью С. А. Язева). Реальная предбиологическая эволюция может быть результатом сложного взаимодействия и конкуренции процессов, происходящих в открытом космосе, в ядрах комет и на планетах при участии межзвездной предбиологической панспермии разных типов.

Таким образом, панспермия, очевидным образом, *может быть* далеко не только «переносом вопроса о происхождении жизни в другое место», но и включением существенно новых механизмов эволюции, которые, в частности, могут отвечать за многократное ускорение процесса по сравнению с естественной планетарной скоростью абиогенной эволюции и за синхронизацию процесса абиогенной эволюции во всей Галактике.

Проверяемым предсказанием модели является единство молекулярной основы жизни во всей Галактике, но это единство относится только к однотипным «экологическим нишам» существования жизни. В Галактике может существовать несколько типов таких ниш (например, ледяные углеводородные экосистемы типа Титана, с одной стороны, и водные экосистемы типа Земли и, возможно, Марса – с другой), так что предбиологические продукты эволюции одних ниш не будут конкурировать с продуктами других ниш. Тогда рассмотренный выше механизм синхронизации может работать для каждой ниши отдельно, порождая специфический для нее тип жизни, но единый для данной ниши во всей Галактике. Обратим внимание, что это предсказание напоминает предсказание рассмотренной выше модели спонтанного самозарождения жизни В. А. Мазура, которая тоже предсказывает единую молекулярно-биологическую основу жизни во всей Галактике, но с той разницей, что в модели спонтанного самозарождения следует ожидать в точности одного типа жизни для всей Галак-

тики, так как независимое самозарождение жизни в разных экологических нишах в пределах одной галактики является совершенно невероятным. Отметим также, что рассмотренный выше механизм самосогласования абиогенной эволюции может действовать только в пределах одной галактики, так как время переноса абиогенных продуктов между разными галактиками оказывается уже космологически большим и межгалактический перенос абиотических продуктов даже если и возможен, не сможет синхронизировать эволюцию в разных галактиках. Поэтому во Вселенной картина распространенности разных форм жизни будет галактически мозаичной: в пределах каждой галактики жизнь будет иметь одну молекулярно-биологическую основу, но в различных галактиках эта основа будет разной.

Подчеркнем, что эти предсказания модели являются, в принципе, проверяемыми (и тем самым фальсифицируемыми в смысле Поппера). Действительно, хотя нам самим трудно исследовать даже нашу собственную Галактику на предмет однородности молекулярно-биологической основы жизни во всех ее уголках, не говоря уже о других галактиках, но нет ничего противоестественного в предположении, что кроме нас во Вселенной существуют и другие разумные существа и от них, в принципе, можно получить сообщение с информацией о молекулярной основе их собственной жизни и жизни в ближайших окрестностях их обитания (даже из других галактик). Таким образом, решение проблемы SETI получает статус вполне прагматически понятого «экспериментального метода» в отношении гипотезы когерентной абиотической эволюции в Галактике.

### Библиография

- Иорданский Н. Н. 2013.** Темпы эволюции и проблема происхождения жизни. *Эволюция Земли, жизни, общества, разума* / Отв. ред. Л. Е. Гринин, А. В. Коротаев, А. В. Марков, с. 35–37. Волгоград: Учитель.
- Мазур В. А. 2010.** Инфляционная космология и гипотеза случайного самозарождения жизни. *Доклады академии наук* 431(2): 183–187.
- Розанов А. Ю. 2003.** Ископаемые бактерии, седиментогенез и ранние стадии эволюции биосферы. *Палеонтологический журнал* 6: 41–49.
- Эволюция Земли, жизни, общества, разума* / Отв. ред. Л. Е. Гринин, А. В. Коротаев, А. В. Марков. Волгоград: Учитель, 2013.
- Язев С. А. 2007.** Еще раз о роли комет в процессе зарождения и распространения жизни. *Бюлл. Спец. астрофиз. обсерв.* 60–61: 100–105.