

Масштабная инвариантность социально-биологической эволюции и гипотеза самосогласованного галактического происхождения жизни

А. Д. Панов

НИИЯФ МГУ, г. Москва

Рассмотрена последовательность фазовых переходов биосферы Земли и показано, что в некотором приближении она обладает свойством масштабной инвариантности. Из устойчивости масштабно-инвариантного характера ускорения эволюции следует гипотеза универсальности шкалы времени и характера эволюции на планетах земного типа. Из существования предела последовательности фазовых переходов (сингулярности эволюции) и его совпадения по времени с технологическим взрывом цивилизации следует представление о потенциальных партнерах по межзвездной связи как субъектах нового, постсингулярного этапа эволюции. Масштабная инвариантность эволюции приводит также к гипотезе возникновения жизни в самосогласованном процессе, включающем всю Галактику.

SCALE INVARIANCE OF THE SOCIAL-BIOLOGY EVOLUTION AND HYPOTHESIS OF SELF-CONSISTENT GALAXY ORIGIN OF LIFE, by A.D.Panov.

Sequence of Earth's biosphere phase transitions is considered. It is shown that the sequence possesses the property of scale invariance in some approximation. The hypothesis of universal scale of time and universal character of evolution on earth-like planets follows from steady character of scale invariant acceleration of evolution on Earth. A notion of potential partner on interstellar connection as an object of a new post-singular branch of evolution follows from the existence of the limit of the sequence of phase transitions and from its coincidence with technological explosion of civilization. Scale invariance of evolution implies also the hypothesis of origin of life in a self-consistent process of the whole Galaxy.

1. Масштабная инвариантность и сингулярность эволюции

В этой статье будут рассмотрены некоторые гипотезы, позволяющие предложить шкалу времени предбиологической, биологической и социальной эволюции, а также позволяющие по-новому сформулировать вопрос о возможном характере цивилизаций — потенциальных партнеров по контакту и вопрос о возникновении жизни. Они важны в оценках количества коммуникативных цивилизаций в Галактике. Существенно, что в рамках предлагаемого подхода удастся с единой точки зрения рассмотреть весьма различные, на первый взгляд, проблемы.

Так как в механизмах эволюции биосферы как таковой и человечества имеется много общего (Снукс, 1996; Назаретян, 2004), имеет смысл рассматривать эволюцию собственно биосферы и затем эволюцию человечества как единый про-

цесс. Далее термин «биосфера» будет пониматься в обобщенном смысле: биосфера включает цивилизацию на поздних стадиях своей эволюции.

Начнем анализ с построения шкалы скорости эволюции, используя последовательность фазовых переходов биосферы. Модель эволюции, из которой мы при этом исходим, основана на ряде предыдущих работ (Назаретян, 2004; Галимов, 2001; Колчинский, 2002; Дьяконов, 1994) — ниже приведены ее основные черты.

Биосфера в некотором приближении развивается как единая система, поэтому можно говорить об этапах эволюции биосферы как целого.

Эволюция биосферы проходит через последовательность фаз с фазовыми переходами между ними. Фазовые переходы возникают в результате преодоления эволюционных кризисов и называются также биосферными (или цивилизационными, в зависимости от характера) революциями.

В результате преодоления эволюционного кри-

зиса и соответствующего фазового перехода биосфера совершает шаг по пути “прогрессивной” эволюции. Это означает, во-первых, что структура биосферы усложняется, и, во-вторых, что вся система переходит к поддержанию равновесия на более высоком уровне в термодинамическом смысле — то есть дальше от состояния тепловой смерти.

Двумя важными механизмами эволюционных кризисов являются эндо-экзогенный и техно-гуманитарный (последний — на социальной стадии эволюции). Суть эндо-экзогенного механизма кризиса состоит в том, что активность биосферы так изменяет среду обитания, что ставит под вопрос собственную устойчивость. Техно-гуманитарный механизм, или, иначе, кризис техно-гуманитарного баланса, заключается в росте разрушающего воздействия технологии без адекватного развития общекультурных механизмов его компенсации. Не следует путать эволюционные кризисы с кризисами чисто экзогенного происхождения, вызываемыми разного рода катастрофами, вроде падения гигантского метеорита. Возможно, чисто экзогенные события могут повлиять на протекание эволюционных кризисов внутренней природы, но именно последние являются ведущим фактором в эволюции.

Существенную роль в преодолении эволюционных кризисов играет так называемый фактор избыточного внутреннего разнообразия. Под избыточным разнообразием понимается наличие эволюционных форм, не играющих существенной системообразующей роли на определенной фазе развития биосферы. В момент эволюционного кризиса именно избыточное многообразие позволяет путем отбора выделить те эволюционные формы, которые становятся лидерами эволюции на новой фазе развития биосферы.

Одним из существенных свойств эволюции является ее «аддитивность». По мере появления новых, более прогрессивных эволюционных форм, старые, как правило, не исчезают полностью, но лишь уходят на второй план и начинают играть подчиненную роль в экосистемах или социальных системах. В приводимом ниже списке биосферных переходов можно найти иллюстрации к этим положениям.

Не существует однозначного метода для выделения событий, которые можно было бы классифицировать как биосферные революции или фазовые переходы. Поэтому последующий их набор должен рассматриваться как гипотетический и стать предметом для дальнейшего обсуждения. Чтобы его сформировать были использованы приведенная выше модель эволюции и литературные данные (т. е. фактически мнения экспертов). События эволюции собственно биосферы были выбра-

ны из литературы по бактериальной и классической палеонтологии (см. ниже), события истории человечества соответствуют периодизации, предложенной И. М. Дьяконовым (1994) (восемь фазовых переходов Дьяконова) и С. П. Капицей (1996).

Биосферные революции в приведенной ниже последовательности пронумерованы, начиная с нуля. Даты в списке представлены весьма приблизительно, так как разные источники не вполне согласуются между собой, но высокая точность и не требуется в последующем анализе. Более того, в большинстве случаев фазовые переходы занимали более или менее длительные периоды, не имеющие четкого начала и конца, поэтому надо ясно понимать, что представление фазового перехода как одномоментного события — лишь грубое приближение. Если каждый момент сдвинуть в прошлое или будущее случайным образом на величину примерно до 30% от его абсолютного значения, основные выводы не изменятся. Ниже, как правило, фазовые переходы описаны очень кратко, за исключением случаев, когда имеются трудности в их интерпретации.

0. *Возникновение жизни* — около 3.9×10^9 лет назад (Оргел, 1998). Биосфера после ее появления была представлена безъядерными анаэробными одноклеточными организмами — прокариотами (а также, возможно, вирусами) и, видимо, существовала в таком виде первые 2–2.5 млрд. лет без значительных потрясений. Важно, что фотосинтезирующие бактерии появились на самых ранних этапах эволюции (Заварзин, 2003). Хотя достоверные признаки действия фотосинтеза имеют возраст 2.7 млрд. лет (Федонкин, 2003), вероятные следы фотосинтезирующих цианобактерий датируются возрастом 3.4–3.5 млрд. лет (Сергеев, 2002). Можно предположить, что фотосинтез возник практически сразу, как только температура на Земле опустилась до 60–70° по Цельсию. При более высоких температурах фототрофы не могут существовать (Заварзин, 2003). Похоже, что на возникновение фотосинтеза практически не потребовалось эволюционного времени. Появление фотосинтезирующих бактерий больше похоже на заполнение экологической ниши, освободившейся в результате понижения температуры, чем на преодоление эндо-экзогенного кризиса, характерного для истинного фазового перехода. Как мог так быстро возникнуть механизм фотосинтеза — отдельный вопрос, мы его коснемся в разделе 2. Задолго до окончания господства прокариот, по-видимому, около 2.5 млрд лет назад, возникли первые эукариоты и, возможно, даже примитивные многоклеточные организмы, но они не играли существенной роли в глобальных биохимических циклах вплоть до кислородного кризиса около 1.5 млрд. лет назад

(см. ниже) (Федонкин, 2003). Существование эвкариотной фауны на фоне прокариотной — пример проявления избыточного внутреннего разнообразия.

1. *Неопротерозойская революция (Кислородный кризис)* — 1.5×10^9 лет назад (Сергеев, 2002; Заварзин, 2003; Федонкин, 2003; Розанов, 2003). Цианобактерии обогатили атмосферу кислородом, который был сильным ядом для анаэробных прокариот. Это породило эндо-экзогенный кризис, по видимому — первый в истории Земли. Анаэробные прокариоты начали вымирать, и анаэробная прокариотная фауна сменилась эвкариотной и примитивной многоклеточной. Признаки угнетения и вымирания первобытной анаэробной фауны отмечаются приблизительно от двух до одного миллиарда лет назад, то есть неопротерозойский переход занимает достаточно большой промежуток времени. Полтора миллиарда лет назад — приблизительно середина этого периода. Так как эвкариоты возникли задолго до кислородного кризиса, то, очевидно, в неопротерозойском переходе проявился фактор избыточного многообразия предыдущей фазы. Анаэробные прокариоты не исчезли, но перестали играть ведущую роль в большинстве экосистем (аддитивность эволюции).

2. *Кембрийский взрыв (начало Палеозоя)* — 570×10^6 лет назад (Кэррол, 1992). В течение немногих десятков миллионов лет появляются практически все современные филогенетические стволы многоклеточных (включая позвоночных). В течение Палеозоя суша постепенно заселялась живыми существами. Когда она была полностью освоена, и все соответствующие экологические ниши заполнены, произошел следующий эволюционный кризис.

3. *Революция пресмыкающихся (Начало Мезозоя)* — 235×10^6 лет назад (Кэррол, 1993А, Кэррол, 1993В). Вымирают практически все виды палеозойских земноводных. На суше лидерами эволюции становятся рептилии.

4. *Революция млекопитающих (Начало Кайнозоя)* — 66×10^6 лет назад (Кэррол, 1993А, Кэррол, 1993В). Вымирают динозавры. На суше лидерами эволюции становятся млекопитающие и птицы. Предположение о том, что вымирание динозавров вызвано исключительно последствиями падения гигантского метеорита, вызывает серьезную критику: оно длилось 1–2 млн. лет, а пыль и сажа могли держаться в атмосфере максимум несколько месяцев. Более того, утверждается (Кэррол, 1993А, стр. 136), что скорость вымирания пресмыкающихся была примерно постоянной на протяжении всего мезозоя. В его же конце лишь перестали появляться новые виды динозавров, что и привело к их окончательному исчезновению. Это является

явным признаком эволюционного кризиса, хотя точная природа его остается непонятной.

5. *Революция гоминиоидов, начало Неогена* — 24×10^6 лет назад (Кэррол, 1993В; Биган, 2003). Большой эволюционный взрыв гоминиоидов (человекообразных обезьян). В интервале между 22-мя и 17-ю миллионами лет назад на Земле жило не менее 14 отрядов гоминиоидов — многие десятки видов — существенно больше, чем сейчас (Биган, 2003). Флора и фауна принимают практически современный вид.

6. *Начало четвертичного периода (Антропоген)* — $(4 - 5) \times 10^6$ лет назад (Вуд, 1992). Первые примитивные люди (Номо, гоминиды) отделяются от гоминиоидов. Подобно Неогену, начало Антропогена сопровождалось всплеском разнообразия Номо.

7. *Палеолитическая революция* — $(2 - 1.5) \times 10^6$ лет назад (Борисковский, 1974В). Номо habilis, первые обработанные каменные орудия.

8. *Шелль* — 0.7×10^6 лет назад (БСЭ, 1978). Огонь, топоровидные орудия с поперечным лезвием (клинверы). Номо erectus.

9. *Ашель* — 0.4×10^6 лет назад (БСЭ, 1970). Стандартизованные симметричные каменные орудия. Основной представитель Номо — по-прежнему Номо еgestus. На фоне ашельской культуры появляется неандерталец (Номо sapiens neandertalensis) и около 160 тыс. лет назад — Номо sapiens sapiens или очень близкий вид. Однако, по видимому, ни тот, ни другой не играют пока существенной роли в биосфере (избыточное разнообразие).

По поводу фазовых переходов 8 и 9 следует заметить, что их выделение, датировка и интерпретация вызывает много вопросов. Эти две фазы рассматриваются отдельно в рамках отечественной археологической традиции, например, в периодизации истории, использованной в статье Капицы (1996). Но существуют иные подходы — в книге Фоули (1990), в частности, фазовые переходы 8 и 9 объединены в один, связанный с началом доминирования культуры Номо erectus над Номо habilis. Такая точка зрения кажется вполне обоснованной, так как различие между культурами Шелль и Ашель не столь уж и велико, но отличие их от культуры нижнего палеолита огромно. Так как мы не видим решающих доводов, чтобы выбрать одну из возможностей, приведенная датировка достаточно произвольна. Однако надо заметить, что эта неопределенность не может качественно повлиять на конечные выводы, к которым мы приходим (и даже количественные из изменения весьма малы).

10. *Культурная революция неандертальцев (Мустье)* — $(150 - 100) \times 10^3$ лет назад (Борисков-

ский, 1974А). Лидером эволюции становится Homo sapiens neandertalensis. Каменные орудия тонкой обработки, захоронение мертвых (признаки примитивных религий).

11. *Верхняя палеолитическая революция* — 40×10^3 лет назад (Дьяконов, 1994). Homo sapiens sapiens вытесняет неандертальцев. Распространение «охотничьей автоматики» — копья, дротики, в конце фазы примитивные луки. Резкий скачок в технологии изготовления каменных и костяных орудий, микролиты, широкое распространение искусства и примитивных религий.

12. *Неолитическая революция* — $(12 - 9) \times 10^3$ лет назад (Дьяконов, 1994; Назаретян, 2004). В конце верхнего палеолита развитие охотничьих технологий привело к истреблению популяций и целых видов животных, что подорвало пищевые ресурсы палеолитического общества и вызвало жестокий эволюционный кризис смешанной природы: эндо-экзогенной и техно-гуманитарной. Ответом на кризис был переход от присваивающего (охота, собирательство) к производящему (земледелие, скотоводство) хозяйству.

13. *Городская революция (Начало древнего мира)* — 4000–3000 лет до н. э. (Дьяконов, 1994; Назаретян, 2004). Возникновение государств, письменности и первых правовых документов.

14. *Имперская древность, Железный век, революция Осеевого времени* — 750 лет до н. э. (Дьяконов, 1994; Назаретян, 2004; Ясперс, 1991). Распространение технологии получения железа около 1000-900 года до н. э. привело к тому, что оружие стало намного более дешевым, легким и эффективным. Следствием стала новая вспышка кровопролития, существенно тормозящая торговые отношения и дальнейший прогресс общества. Ответом на кризис явилось, во-первых, объединение мелких государств в крупные империи, и, во-вторых, вытеснение авторитарного мифологического мышления личностным — возникли представления о личности как суверенном носителе морального выбора. Это привело к практически одновременному появлению в разных регионах Ойкумены мыслителей и полководцев нового типа (Заратустра, иудейские пророки, Сократ, Будда, Конфуций и др.) и к культурному взрыву античности.

15. *Гибель Древнего мира, начало Средних веков* — 500 год н. э. (Дьяконов, 1994). Кризис и распад Западной Римской империи, распространение мировых тоталитарных религий (христианство, ислам), доминирование феодального способа производства. Демографический спад середины первого тысячелетия н. э. сменяется демографическим подъемом.

16. *Начало Нового времени, первая промыш-*

ленная революция — 1500 год н. э. (Дьяконов, 1994; Назаретян, 2004). Возникновение мануфактурного производства, книгопечатание, культурная революция Нового времени, становление научного метода.

17. *Вторая промышленная революция. Пар, электричество, механизированное производство* — 1835 год (Дьяконов, 1994). Распространение механизированного производства, начало глобализации в области информации (в 1831 году изобретен телеграф) и т. д.

18. *Информационная революция, начало постиндустриальной эпохи* — 1950 год (Дьяконов, 1994). Основная часть населения индустриальных стран занята в сфере обслуживания и в переработке информации, но не в материальном производстве. Распространение ЭВМ.

Заметим, что события, связанные с Октябрьским переворотом в России и последующим расколом мира на две системы, не выделяются И.М.Дьяконовым в его книге (1994) в отдельный фазовый переход. Это представляется обоснованным, так как здесь отсутствуют признаки преодоления какого-либо цивилизационного кризиса. Напротив, скорее, этот раскол напоминает очередной шаг в углублении кризиса техно-гуманитарного баланса. Так как в начале XX века возникли материальные и технологические предпосылки для реализации модели централизованного научно управляемого общества, то рано или поздно должны были быть предприняты попытки эту модель воплотить в жизнь. Несколько таких попыток на протяжении XX века показали, что тоталитарная плановая экономика, в которую воплотились эти идеи, не приводит к созданию конкурентоспособных социальных систем, по крайней мере на достаточно длительных отрезках времени. Другими словами, не возникает систем, способных поддерживать состояние равновесия на более высоком уровне, чем ранее, что могло бы быть признаком настоящего фазового перехода. Можно также отметить, что и структура планово-тоталитарной системы проще, а не сложнее структуры государств с рыночной либеральной экономикой в противоречии с направленностью обычного вектора развития при преодолении эволюционного кризиса. Возможно, недостаточное внутреннее разнообразие и является главной слабостью тоталитарно-плановых систем.

Нетрудно видеть, что продолжительность фаз эволюции биосферы устойчиво сокращается от прошлого к настоящему. Более того, последовательность фазовых переходов в хорошем приближении обладает свойством масштабной инвариантности. Это означает, что последовательность моментов переходов образует геометрическую про-

грессию и различные ее части могут быть получены друг из друга простым масштабным преобразованием — сжатием или растяжением.

Масштабно-инвариантная последовательность моментов времени в общем случае имеет вид:

$$t_n = t^* - T/\alpha^n. \quad (1)$$

В уравнении (1) коэффициент $\alpha > 1$ есть показатель сокращения длительности каждой последующей фазы эволюции по сравнению с предыдущей. T есть продолжительность всего описываемого промежутка времени, n представляет собой номер фазового перехода, t^* является пределом последовательности моментов фазовых переходов $\{t_n\}$. На существование такого предела обратил внимание И. М. Дьяконов (1994). Он назвал эту точку сингулярностью истории, но ее можно также называть точкой сингулярности эволюции, так как она является пределом последовательности фазовых переходов всей биосферы, а не только человеческой истории. Фактически речь идет о процессе, ускоряющемся в режиме с обострением, когда некоторые параметры системы стремятся к бесконечности за конечное время — явление, хорошо известное в синергетике. В данном случае к бесконечности стремится количество фазовых переходов в единицу времени.

В уравнении (1) имеются три независимых параметра α, t^*, T , оценка для которых может быть получена путем наилучшего приближения «экспериментальной» последовательности моментов фазовых переходов идеальной последовательностью (1). Для того, чтобы понять, насколько хороша полученная аппроксимация, полезно переписать уравнение (1) в виде

$$\lg(t^* - t_n) = \lg T - n \lg \alpha.$$

Видно, что зависимость интервала времени между фазовым переходом и сингулярностью от его номера в логарифмическом масштабе должна быть близка к линейной.

Результат такого анализа показан на рис. 1. Видно, что последовательность фазовых переходов биосферы неплохо укладывается на прямую линию. Можно сказать, что существует масштабно-инвариантный аттрактор эволюции (прямая линия на рис. 1). Реальная эволюция следует этому аттрактору с относительно малыми флуктуациями. Постольку, поскольку масштабно-инвариантный аттрактор существует, параметры α и t^* становятся осмысленными. Анализ приводит к значениям

$$\alpha = 2,67 \pm 0,15; \quad t^* = (2004 \pm 15) \text{ год}. \quad (2)$$

Забавно, что $\alpha \approx e = 2,718 \dots$. Есть ли в этом глубокий смысл? Заметим также, что так как $t^* =$



Рис. 1: Масштабная инвариантность распределения биосферных фазовых переходов во времени. Треугольники — чисто биосферные переходы, квадратiki — переходы в социальной истории. Прямая линия — масштабно-инвариантный аттрактор эволюции на Земле.

2004 г., мы живем вблизи конечной точки цикла масштабно-инвариантной эволюции длительностью около 4-х миллиардов лет.

По поводу характера полученного результата надо сделать одно важное замечание. Помимо учтенных событий, которые трактовались как «биосферные революции», произошло множество более мелких, соответствующих вполне заметным изменениям в биосфере. Так, например, между революциями верхнего палеолита и неолита в качестве отдельной эпохи нередко выделяется мезолит (или протонеолит); между неолитической революцией и революцией городов выделяют верхний неолит (или энеолит — медный век). Геологические эры делят на системы, отличающиеся характером осадочных пород и соответствующие различным периодам в развитии биосферы. Если «снизить планку» и учесть все такие события (или еще более мелкие), никакой простой закономерности в их следовании найти не удастся. Поэтому в точной формулировке полученный результат состоит в том, что в череде биосферных событий именно самые глубокие перестройки образуют масштабно-инвариантную последовательность и сходятся к сингулярности. К сожалению, мера «глубины» остается в значительной степени субъективной.

Некоторый свет на смысл и природу полученного результата проливает интересная математическая модель демографических кризисов (Белавин, 1998). Модель показывает, что на гиперболический рост населения Земли накладываются многочисленные колебания. Если учитывать все колебания, включая самые мелкие, то распределе-

ние их во времени не подчиняется никакой простой закономерности. Однако на сетку из хаотического набора мелких колебаний накладываются “демографические кризисы” (очень резкие провалы в численности населения), моменты которых образуют масштабно-инвариантную последовательность, сходящуюся к точке сингулярности. Следовательно, если выбрать правильное значение порога амплитуды колебаний и отбросить все более мелкие, то останется чистая масштабно-инвариантная последовательность демографических кризисов (это вывод авторов указанной работы (Белавин, 1998)). Такое заключение очень похоже на результаты нашего анализа биосферных фазовых переходов. Вид кривой распределения демографических кризисов по времени (Белавин, 1998), поразительно напоминает кривую на рис. 1, вплоть до степени нарушения точной масштабной инвариантности.

Вблизи точки сингулярности скорость эволюции формально должна была бы обратиться в бесконечность, что, видимо, реально невозможно. Отсюда следует, что характер эволюции на Земле неизбежно должен измениться в ближайшем будущем или уже изменился. Мы находимся в начале совершенно новой — постсингулярной — фазы эволюции. Что он может собой представлять — отдельный вопрос, которого мы коснемся в другой статье (Панов, 2007б).

Одним из признаков того, что земная биосфера уже вступает в эту фазу, может быть удивительное явление демографического перехода (Капица, 1996). Население развитых постиндустриальных государств прекратило рост в *условиях материального изобилия*. Впервые живая материя не стремится к неограниченной физической экспансии, несмотря на наличие материальных условий для этого. Нарушается основной закон эволюции, который неизменно выполнялся в течение предыдущих 4-х миллиардов лет.

Масштабная инвариантность последовательности биосферных революций означает, что социально-биологическая эволюция на Земле, начиная с возникновения жизни и до наших дней, происходила с удивительно постоянным ускорением. И это несмотря на существенное изменение условий на Земле, а также изменение структуры и свойств эволюционирующей системы. Отсюда следует естественное предположение, что масштабная инвариантность эволюции на Земле вместе с характерной временной шкалой этого процесса связана не со случайно сложившимися именно на Земле условиями, но, возможно, обязана некоторым внутренним свойствам эволюции как явления природы, и поэтому имеет универсальный характер. Это позволяет сформулировать гипотезу,

согласно которой и на других планетах земного типа, где возможна эволюция жизни вплоть до возникновения мыслящего существа, начальная часть эволюционного процесса будет иметь масштабно-инвариантный характер и продолжаться порядка 4-х миллиардов лет, заканчиваясь резким ускорением в режиме с обострением. Наличие точки обострения является неизбежным следствием масштабной инвариантности и должно быть в той же степени универсальным. Вряд ли обострение может означать что-то иное, кроме технологического взрыва, связанного с возникновением на планете разума.

Продолжительность заключительного этапа масштабно-инвариантной эволюции, связанного с технологическим взрывом, ничтожна по космическим масштабам (десятки лет), поэтому и вероятность обнаружить другую цивилизацию в этом состоянии исчезающе мала. В рамках гипотезы об универсальности масштабно-инвариантной шкалы времени эволюции обнаружение внеземной космотехнологической цивилизации возможно только в том случае, если цивилизация длительно существует и после преодоления точки сингулярности. С этой точки зрения задача SETI можно сформулировать как задачу поиска постсингулярных космотехнологических цивилизаций. Соответственно, вопрос о потенциальном партнере по SETI-контакту трансформируется в вопрос о том, что может собой представлять постсингулярная цивилизация.

Следует отметить, что результаты настоящей работы не являются совершенно оригинальными. Так, Г. Д. Снукс, исследуя изменения биосферы, предложил значение $\alpha = 3$ для фактора ускорения эволюции, описывая ее в терминах длительности «волн жизни», генерируемых биологическими и технологическими изменениями (Снукс, 1996, стр. 79–82, 92–95, 401–405). И. М. Дьяконов (1994) отмечал экспоненциальное ускорение социальной эволюции (без количественной оценки показателя ускорения) от неолитической революции до наших дней и указывал, что из характера ускорения следует существование “сингулярности истории” где-то в недалеком будущем (также без количественной оценки). С. П. Капица (1996) предложил величину $\alpha \approx e$ для фактора ускорения эволюции с возникновения гоминид $(4 - 5) \times 10^6$ лет назад до настоящего времени. Наша оценка (2) подтверждает более ранние вычисления, но дает более высокий уровень точности.

Анализ, проведенный в настоящей работе, сам по себе не может рассматриваться как доказательство масштабной инвариантности эволюции и существования точки сингулярности — это лишь гипотеза. Однако важно, что к представлениям

об автомодельности эволюции либо истории, и к вытекающему из автомодельности существованию точки сингулярности разные авторы приходят, исходя из совершенно разных соображений. Хорошо известны демографические исследования С.П.Капицы (1996), предсказывающие момент обострения автомодельного закона роста народонаселения Земли в 2027 году. А.Е.Чучин-Русов предсказывает сингулярность (в его терминологии — точка схождения) в 2015 году на основе анализа масштабно-инвариантной последовательности “культурно-экологических формаций” (Чучин-Русов, 2002). С.Н.Гринченко, рассматривая процесс формирования “механизмов системной памяти”, приходит к выводу о масштабной инвариантности и о существовании момента сингулярности, приходящегося на 1981 год (Гринченко, 2001). Этот перечень далеко не полон. Как нам представляется, именно общий вывод о масштабной инвариантности, автомодельности и сингулярности эволюции, полученный в рамках различных подходов, а также близость предсказываемых моментов сингулярности, заставляют отнестись к этим результатам достаточно серьезно.

2. Шкала времени предбиологической эволюции и гипотеза самосогласованного галактического происхождения жизни

Жизнь должна была появиться в процессе естественной химической предбиологической эволюции. Никто не может сейчас оценить “естественную” продолжительность предбиологической эволюции на планете, исходя из “первых принципов” или в результате эксперимента. Покажем, как можно получить независимую феноменологическую оценку ее шкалы времени на основании описанного выше явления масштабной инвариантности эволюции биосферы.

В книге Э.М.Галимова (2001) детально аргументирована идея, согласно которой предбиологическая химическая эволюция, возникновение жизни и последующая эволюция биосферы являются единым процессом, основанным на действии универсальных механизмов. Мы видели (см. раздел 1), что чем выше степень организации биосферы, тем выше скорость эволюции. Так как (а) любая предбиологическая система имеет более низкую степень организации, чем биологическая и (b) предбиологическая и биологическая эволюция могут рассматриваться как единый процесс, то представляется, что скорость предбиологической эволюции должна быть ниже, чем скорость последующей эволюции биосферы. Более того, можно

предположить, что предбиологическая эволюция принадлежит тому же масштабно-инвариантному аттрактору, что и эволюция биосферы и оценить длительность предбиологической эволюции путем его экстраполяции вспять по времени. Разумеется, это есть простая индукция; наши рассуждения не имеют силы доказательства и такую оценку следует рассматривать как гипотетическую.

Используя значение α из (2) и продолжительность первого шага биологической эволюции $3.9 \cdot 10^9 - 1.5 \cdot 10^9 = 2.4 \cdot 10^9$ лет, получаем оценку продолжительности последней фазы предбиологической химической эволюции $\tau_{chem} = 2.4 \cdot 10^9 \times 2.67 = 6.4 \cdot 10^9$ лет. Это величина нижней границы полной продолжительности предбиологической химической эволюции, так как последняя может состоять из многих фаз.

Значение $\tau_{chem} \approx 6 \cdot 10^9$ лет очень велико. В то же время есть свидетельства, что продолжительность предбиологической химической эволюции на Земле не превышала $0.2 \cdot 10^9$ лет (Оргел, 1998) (от 4.1 до 3.9 миллиардов лет назад). Налицо явное противоречие, которое может разрешаться следующим образом. Продолжительность предбиологической химической эволюции фактически могла быть порядка 6 миллиардов лет (или более), но имела место она не на Земле, а на другой (или других) планетах земного типа около звезд, много более старых, чем Солнце. А на Землю жизнь могла попасть в результате процесса межзвездной панспермии (Гиндилис, 2004). Идея панспермии поддерживается открытием метеоритов, выбитых с поверхности других планет, и возможным обнаружением в них органических остатков (МакКей, 1996).

Заметим, что панспермия могла бы также объяснить неожиданно быстрое возникновение механизма фотосинтеза (см. раздел 1, обсуждение фазового перехода номер 0). Если перенос аппарата фотосинтеза или каких-то важных его фрагментов путем панспермии возможен, то и после появления жизни на Земле планета оставалась под постоянным давлением процесса заражения “спорами” фотосинтеза из космоса. Как только температура на Земле упала до приемлемых величин, эти “споры” немедленно дали всходы — появились фотосинтезирующие цианобактерии. Таким образом, панспермия может объяснить не один, а сразу два странных факта: неожиданно быстрое появление на Земле жизни и неожиданно быстрое появление фотосинтеза.

Таким образом, на первых порах эволюция жизни на Земле могла быть не вполне “естественной”, но определялась, в значительной степени, “инфицированием” из космоса. Однако в какой-то момент сложность жизни на Земле начинает пре-

восходить максимальную сложность объектов, которые могут переноситься путем панспермии, эволюция на Земле “отрывается” от своего первоначального космического источника и приобретает самостоятельность. Например, даже самые примитивные эвкариоты, видимо, слишком сложно организованы, чтобы выдержать длительный космический перелет, поэтому первые эвкариоты на Земле появляются более чем через миллиард лет после зарождения жизни как результат уже естественной земной эволюции.

Надо отметить, что предположение о несамостоятельном возникновении фотосинтеза на Земле является критическим для приведенной выше оценки длительности предбиологической эволюции. Если фотосинтез возник на самом деле естественным эволюционным путем, в результате преодоления некоторого эндо-экзогенного кризиса, то это означает резкое нарушение масштабной инвариантности на начальном участке эволюции. Следовательно, экстраполяция масштабной инвариантной зависимости в прошлое оказывается незаконной.

Если имела место биологическая панспермия, то вполне могла бы быть и предбиологическая панспермия. Продукты предбиологической химической эволюции должны быть менее чувствительны к трудностям космического путешествия (жесткое излучение, холод и вакуум), чем любые биологические системы. Каков характерный масштаб времени разноса предбиологической либо биологической “инфекции” по Галактике?

Уточним некоторые детали механизма панспермии. Предположим, что речь идет о распространении некоторого биологического или предбиологического продукта, характеризующегося высокой адаптационной и конкурентной способностью. Такой продукт, попав на планету, пригодную для его адаптации, должен за немногие тысячи лет, а может быть, и быстрее распространиться по поверхности планеты, вытесняя более слабые местные системы. В результате планета сама становится источником панспермии этого продвинутого продукта эволюции. Если ее родительская звезда пролетит не слишком далеко от другой звезды, то последняя тоже может стать объектом панспермии. Тогда распространение продукта эволюции будет иметь не диффузионный характер, а характер волны, распространяющейся с постоянной скоростью, примерно так, как это и происходит при эпидемиях. Решающей является характерная скорость пекулярного хаотического движения звезд, ее величина — около 30 км/с — и будет характерной скоростью распространения волны панспермии в Галактике. Получаем автоволновой процесс,

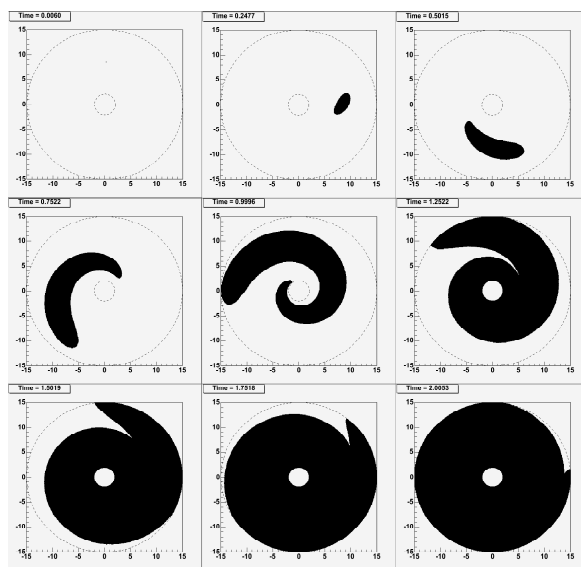


Рис. 2: Численная модель распространения волны панспермии в Галактике. Время на рисунках указано в галактических годах.

для моделирования которого можно использовать принцип Гюйгенса в чистом виде. Разумеется, модель содержит много упрощений. Так, например, характерные пекулярные скорости звезд могут быть разными на разных расстояниях от центра Галактики, и т. д. Но для грубой оценки масштабов времени модель пригодна.

На рис. 2 показаны результаты численного моделирования распространения волны панспермии в Галактике, выполненного в описанных выше предположениях, с учетом дифференциального вращения галактического диска. Из рис. 2 видно, что, благодаря дифференциальному вращению, за два галактических года (галактический год — период обращения Солнца вокруг центра Галактики — составляет 216 млн. лет) процесс практически завершается, а 70% объема Галактики заселяется примерно за 300 млн. лет.

Получаем две временные шкалы: одна длинная, масштаба $\tau_{chem} \approx 6 \cdot 10^9$ лет (или больше), это шкала естественной продолжительности предбиологической химической эволюции на изолированной планете; другая короткая, масштаба $\tau_{pan} \approx 0.3 \cdot 10^9$ лет — шкала времени процесса галактической панспермии. Из существования двух сильно различающихся временных шкал следует, что предбиологическая химическая эволюция на отдельных планетах не могла протекать независимо от процессов на других планетах.

Действительно, предположим, стабильная и

конкуренцеспособная предбиологическая система появляется на некоторой планете на стадии предбиологической эволюции Галактики (т. е. до того, как жизнь появилась первый раз). Это вполне случайное событие. Тогда в течение короткого времени, порядка τ_{pan} , эта предбиологическая система, благодаря обычному естественному отбору, вытесняя по дороге менее эффективные местные предбиологические системы, распространится по всему объему Галактики. Получаем механизм естественного отбора на предбиологическом уровне в масштабе всей Галактики. Благодаря условию $\tau_{pan} \ll \tau_{chem}$ этот процесс должен синхронизировать (с точностью до τ_{pan}) предбиологическую эволюцию во всем объеме Галактики. В результате жизнь появляется почти одновременно на всех планетах, которые имеют подходящие условия для ее существования, при этом на одной молекулярной основе (в смысле основы генетического кода и т. д.) и с одной хиральностью. Это событие напоминает неравновесный фазовый переход. Таким образом, предбиологическая химическая эволюция и возникновение жизни может быть самосогласованным коллективным галактическим процессом, но не процессом, локализующимся на отдельных планетах, как это обычно предполагается (гипотеза самосогласованного галактического происхождения жизни).

Если механизм самосогласованного галактического происхождения жизни работал, то в Галактике должна была иметь место гигантская вспышка заселения жизнью планет — вскоре после того, как где-то жизнь возникла впервые. После этого жизнь нигде не могла возникать в процессе естественной предбиологической эволюции, так как естественный предбиологический процесс не может конкурировать с гораздо более быстрым процессом панспермии. Заметим, что это почти точно соответствует гипотезе известного радиофизика и астронома В.С.Троицкого об одновременном возникновении жизни в Галактике (Троицкий, 1981), которая была предложена им просто как альтернатива принимаемому как самоочевидное представлению о постоянном происхождении жизни на разных планетах. Как видим, возможен вполне конкретный механизм, который может привести к реализации гипотезы Троицкого. Как отмечал Троицкий (1981), представление об одновременном появлении жизни во многих местах Галактики существенно влияет и на оценки распространенности КЦ. Этот вопрос, в частности, будет подробно обсуждаться в статье Панова (2007в).

Интересная точка зрения на процесс галактического самосогласования предбиологической эволюции была высказана Г.А.Скоробогатовым (2004). Распространено мнение, что вероятность

самозарождения жизни на любой отдельно взятой планете исчезающе мала. Например, для возникновения жизни на изолированной планете земного типа с подходящими условиями может потребоваться в среднем миллиард миллиардов лет или какое-то столь же несуразно длительное время. Если бы предбиологическая эволюция протекала на разных планетах независимо, то в настоящее время жизнь во Вселенной не существовала бы вообще, или была бы совершенно уникальным явлением. Однако, если эффективный процесс предбиологической панспермии возможен, то любая случайная удача предбиологической эволюции на одной из примерно 10^9 планет Галактики, где она одновременно протекает, практически немедленно становится достоянием и остальных планет. Другими словами, вероятность такого события на каждой отдельной планете увеличивается в 10^9 раз! Приблизительно в такой же пропорции сократится и вся предбиологическая химическая эволюция (точные оценки сложны и зависят от многих деталей). Таким образом, даже если самопроизвольное зарождение жизни практически невероятно в условиях изолированной планеты, оно может оказаться вполне возможным благодаря предбиологической панспермии.

В заключение заметим, что описанный выше процесс самосогласования предбиологической эволюции на уровне Галактики может быть только частью реально действующего механизма. Хорошо известно (Гиндилис, 2004, стр. 226), 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), заключенного в молекулярных облаках, на много порядков превосходит массу органического вещества на поверхности всех планет Галактики, вместе взятых. На планетах действуют как бы единичные быстрые химические процессоры, в космосе же — много 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. Реальная предбиологическая эволюция может быть результатом сложного взаимодействия и конкуренции процессов, происходящих в открытом космосе и на планетах.

Благодарности. Автор выражает благодарность Л. М. Гиндилису, Ю. Н. Мишурову и О. М. Теняковой за плодотворное обсуждение.

Список литературы

- Белавин В. А., Капица С. П., Курдюмов С. П., 1998, Журнал вычислительной математики и математической физики, **38**, 885
- Биган Д., 2004, В мире науки, № 11, 68
- Борисковский П. И., 1974А, В кн.: БСЭ, Т. 17, Москва, Советская энциклопедия, 134
- Борисковский П. И., 1974В, В кн.: БСЭ, Т. 18, Москва, Советская энциклопедия, 369
- БСЭ, 1970, БСЭ, Т. 2, Москва, Советская энциклопедия, 471
- БСЭ, 1978, БСЭ, Т. 29, Москва, Советская энциклопедия, 377
- Вуд (Wood В.), 1992, Nature, **355**, 783
- Галимов Э. М., 2001, Феномен жизни: между равновесием и нелинейностью. Происхождение и принципы эволюции, Москва, УРСС
- Гиндилис Л. М., 2004, SETI: Поиск внеземного разума, Москва, Физматлит
- Гринченко С. Н., 2001, Электронный журнал «Исследовано в России», zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2001/145.pdf, 1652
- Дьяконов И. М., 1994, Пути истории. От древнейшего человека до наших дней. Восточная литература, Москва, 1994
- Заварзин Г. А., 2003, Палеонтологический журнал, № 6, 16
- Капица С. П., 1996, УФН, **166**, 63
- Колчинский Э. И., 2002, Неокатастрофизм и селекционизм: Вечная дилемма или возможность синтеза, Санкт Петербург, Наука
- Кэррол Р., 1992, Палеонтология и эволюция позвоночных. Т1. Москва, Мир
- Кэррол Р., 1993А, Палеонтология и эволюция позвоночных. Т2. Москва, Мир
- Кэррол Р., 1993В, Палеонтология и эволюция позвоночных. Т3. Москва, Мир
- МакКей и др. (McKay D. S., Gibson E. K., Thomas-Keptra K. L., Vali H., Romanek C. S., Clemmet S. L., Chiller X. D. F., Maechling C. R., Zare R. N.), 1996, Science, **273**, 924
- Назаретян А. П., 2004, Цивилизационные кризисы в контексте Универсальной истории. Издание второе, переработанное и дополненное. Москва, Мир
- Оргел (Orgel L. E.), 1998, Origins Life Evol. Biosph., **28**, 91
- Панов А. Д., 2007б, Бюлл. Спец. астрофиз. observ., **60-61**, 111
- Панов А. Д., 2007в, Бюлл. Спец. астрофиз. observ., **60-61**, 162
- Розанов А. Ю., 2003, Палеонтологический журнал, № 6, 41
- Сергеев и др. (Сергеев В. Н., Герасименко Л. М., Заварзин Г. А.), 2002, Микробиология, **71**, 725
- Скоробогатов Г. А., 2004, Частное сообщение
- Снукс (Snooks G. D.), 1996, The dynamic society. Exploring the source of global change. London and New York, Routledge
- Троицкий В. С., 1981, Астрономический журнал, **58**, 1121
- Федонкин М. А., 2003, Палеонтологический журнал, № 6, 33
- Фоули Р., 1990, Еще один неповторимый вид, Москва, Мир, 1990
- Чучин-Русов А. Е., 2002, Единое поле мировой культуры. Кижли-концепция. Кн. 1. Теория единого поля. Москва, Прогресс-Традиция
- Ясперс К., 1991, Смысл и назначение истории. Москва, Политиздат