
А. Д. ПАНОВ

ЕДИНСТВО СОЦИАЛЬНО- БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЭВОЛЮЦИИ И ПРЕДЕЛ ЕЕ УСКОРЕНИЯ

Представленная в статье логарифмическая формула ускорения эволюционных процессов была впервые доложена автором в 2003 году на семинаре в Государственном астрономическом институте им. М. В. Штернберга и оценена участниками семинара как открытие. Особенно впечатляющим результатом расчетов стало то, что при экстраполяции полученной гиперболы она в ближайшие десятилетия превращается в вертикаль. Иначе говоря, теоретически скорость эволюционных процессов на Земле уже в обозримом будущем должна устремиться к бесконечности... Несколькими годами ранее близкий результат был независимо получен австралийским ученым Г. Д. Снуксом, который пользовался другими источниками и иным, менее точным, математическим аппаратом, и в последующем в российских и международных источниках появился термин «вертикаль Снукса – Панова».

Мало у кого вызывает сомнение, что современная цивилизация находится на пороге тяжелого системного кризиса. Это и экологические проблемы, и исчерпание невозполнимых ресурсов, и многое, многое другое. Однако кризисы не раз случались в истории человечества (Назаретян 2004; 2008), поэтому уместен вопрос: не является ли приближающийся системный кризис очередным, можно сказать, «обычным» цивилизационным кризисом? Попытаемся показать, что это, по всей видимости, не так. Хотя приближающийся системный кризис имеет некоторые черты, характерные и для других цивилизационных кризисов, есть основания полагать, что переживаемые сейчас события по своей драматичности сопоставимы с возникновением жизни на Земле.

Характер планетарной эволюции

История жизни на Земле начинается с возникновения биосферы около 4×10^9 лет назад (Orgel 1998) и продолжается историей человечества после возникновения рода *Homo* $(4-5) \times 10^6$ лет назад (Wood 1992). В механизмах эволюции биосферы как таковой и человечества много общего (Назаретян 2004; Snooks 1996; 2003). Можно говорить об эволюции биосферы в обобщенном смысле,

рассматривая эволюцию собственно биосферы и затем эволюцию человечества как единый непрерывный процесс. Далее под термином «планетарная система» (ПС) подразумевается такая система, которая на ранних этапах развития отождествляется с биосферой в обычном понимании, но включает цивилизацию на более поздних стадиях своей эволюции.

Длительность первых фаз эволюции жизни на Земле, когда в биосфере доминировали простейшие организмы – прокариоты, измерялась миллиардами лет. Приматы прошли путь от человекообразной обезьяны до *Homo sapiens* всего за два-три десятка млн. лет, а темпы эволюции современной цивилизации отличаются крайней стремительностью. Возникает интуитивное ощущение, что эволюция на Земле ускоряется. Можно ли ввести объективную шкалу скорости эволюции, охватывающую как чисто биологическую, так и социальную ее части? Ясно, что это чрезвычайно сложная задача и трудно надеяться на ее исчерпывающее решение. Ниже *в качестве эвристической гипотезы* предлагается один из возможных подходов к этой проблеме.

Очевидно, что для обсуждения единой шкалы скорости эволюции, охватывающей историю всей ПС, необходимо отталкиваться от некоторых понятий, приложимых как к биологической, так и к социальной эволюции, или от явлений, характерных для обоих этих процессов. Чтобы ввести соответствующие представления, следует исходить из некоторой модели эволюции. Излагаемые ниже положения основаны главным образом на книгах (Дьяконов 1994; Галимов 2001; Колчинский 2002; Назаретян 2004) и представляют собой некоторый синтез идей, выдвигаемых в этих работах. Изложим сначала кратко суть этих модельных представлений, а далее, по ходу детального обзора эволюции ПС, приведем примеры, иллюстрирующие эти положения.

Поскольку ПС в некотором приближении развивается как единая система, в том же приближении можно говорить об этапах эволюции ПС как целого. Так, на начальном этапе можно говорить о прокариотной фазе развития ПС, затем о периоде доминирования примитивных эукариот, на поздних этапах – о ведущей роли постиндустриализма и т. д. Подчеркнем, что представление об этапах эволюции ПС является приближенным модельным представлением, так как почти всегда можно найти как регионы-изолянты, отстающие от общего развития (фауна сумчатых Австралии), так и регионы, вовсе не следующие за основной магистральной линией

эволюции ПС (фауна «черных курильщиков»), а также некие «ростки нового», в каком-то смысле обгоняющие свое время (факторы избыточного многообразия).

Эволюция планетарной системы проходит через последовательность фаз с фазовыми переходами между ними. Фазовые переходы сопровождаются особенно бурными событиями в ПС, переводящими ее в качественно новое состояние. Периоды развития между фазовыми переходами отличаются более плавным характером изменений в ПС.

Фазовые переходы возникают в результате преодоления эволюционных кризисов и называются также биосферными (или цивилизационными, в зависимости от характера) революциями. Не следует путать эволюционные кризисы с кризисами экзогенного происхождения, например, вызванными падением крупного метеорита или извержением вулкана¹. 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 иными словами – нарушение техно-гуманитарного баланса) заключается в росте разрушительного фактора технологии без адекватного роста его культурных сдержек. Оба механизма на социальной стадии развития ПС нередко действуют совместно, и часто трудно отделить один от другого. Более того, кризисы техно-гуманитарного баланса допустимо рассматривать как частный вид эндо-экзогенных кризисов, поскольку человечество фактически давно уже создает среду собственного обитания, и нарушение техно-гуманитарного баланса является кризисом этой среды. Конечно, выделенные механизмы не исчерпывают всего многообразия причин эволюционных кризисов, скорее, это наиболее характерные примеры таких механизмов. Заметим, что эндо-экзогенные кризисы преимущественно связаны с функционированием самого верхнего, лидирующего звена эволюции, поэтому их можно рассматривать как кризисы этого звена. Но поскольку лидер эволюции определяет лицо всей ПС, кризис лидирующего звена эволюции является и кризисом всей ПС (и фактически может поставить на грань гибели или деградации всю систему).

¹ Под экзогенными кризисами мы понимаем все те кризисы ПС, причины которых лежат вне деятельности самой системы. Сюда попадают преимущественно кризисы геологического, климатического и космического происхождения.

Эволюционные кризисы преодолеваются планетарной системой за счет усложнения собственной структуры и перехода к устойчивости на более высоком уровне. Собственно, в этом и заключается суть «прогрессивной» эволюции, так как в состоянии, более далеком от равновесия, ПС характеризуется и более сложной структурой. В этом контексте «прогресс» означает усложнение системы и удаление ее от равновесия. Чистые кризисы экзогенного происхождения сами по себе не приводят к биосферным революциям, но могут повлиять на протекание естественного эволюционного кризиса, как это было, возможно, на верхней границе мела, когда окончательно исчезли надотряд динозавров и многие другие отряды наземных и морских животных, а также в некоторых других случаях.

Значительный вклад в преодоление эволюционных кризисов внес так называемый фактор избыточного внутреннего разнообразия. Под избыточным разнообразием понимаются эволюционные формы, не играющие существенной системообразующей роли на определенной фазе развития ПС. В момент эволюционного кризиса именно из избыточного многообразия путем отбора выделяются те эволюционные формы, которые способны стать (и становятся) лидерами эволюции на новой фазе развития ПС. Таким образом, хотя глобальная эволюция носит в некотором роде скачкообразный характер типа прерывистого равновесия, естественный отбор в ходе эволюционных скачков продолжает играть ведущую роль, как и в более спокойные времена между эволюционными скачками. Нетрудно понять, что на разных этапах эволюции отбор работает по-разному: между фазовыми переходами приводит преимущественно к стабилизации существующих эволюционных форм и к плавным эволюционным изменениям; во время фазовых переходов в условиях кризиса и деградации существующих систем он за относительно короткое время выделяет нового лидера эволюции, что ведет к резкому и качественному изменению всей структуры ПС.

Одним из важных свойств эволюционного процесса является аддитивность эволюции. 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. Становление эукариотной биосферы не означало исчезновения прокариот, после неолитической революции аграрное производство не вытеснило полностью охоту и собирательство, становление научного метода познания природы не отменило философию и религию и т. д.

Важным свойством эволюции является также консерватизм. Это означает, что новые эволюционные формы не возникают сами по себе, но всегда представляют собой результат комбинирования уже существующих продуктов эволюции. Эукариотная клетка – симбионт более простых прокариотных организмов, многоклеточный организм – симбионт одноклеточных эукариот и т. д. Это позволяет на множестве эволюционных форм ввести частичное упорядочение и утверждать, что некоторая эволюционная форма превосходит некоторую другую, если первая является наследницей второй в смысле консервативности эволюционного процесса. Такое частичное упорядочение позволяет строить эволюционное древо. В подавляющем большинстве случаев превосходство в положении на эволюционном древе означает также более сложную структуру и более высокую степень неравновесности системы в термодинамическом смысле.

Последовательность биосферных фазовых переходов

Предлагаемая ниже шкала скорости эволюции основана на анализе последовательности фазовых переходов биосферы, связанных с преодолением эволюционных кризисов. Не существует точного и объективного метода для выделения такого рода событий, разные события устанавливаются с разной степенью достоверности, поэтому список фазовых переходов должен рассматриваться как *эвристическая* гипотеза и предложение для дальнейшего обсуждения. Для выделения событий, которые могут быть квалифицированы как биосферные революции, был использован ряд признаков таких событий, как следует из приведенной выше модели эволюции, а также оценки некоторых хорошо известных событий в качестве революционных по литературным данным, т. е. фактически в соответствии с мнением экспертов. События собственно истории биосферы были выбраны в соответствии с литературой по бактериальной и классической палеонтологии, события истории человечества соответствуют периодизации, предложенной И. М. Дьяконовым (1994) (восемь фазовых переходов Дьяконова) и С. П. Капицей (1996).

Последовательность биосферных революций приведена с нумерацией, начинающейся с нуля. Даты в списке представлены приблизительно, но высокая точность в последующем анализе и не требуется. Более того, в большинстве случаев фазовые переходы занимали более или менее длительные отрезки времени, не имею-

шие четкого начала и конца, поэтому надо ясно понимать, что представление фазового перехода точкой во времени – это модельное представление. Фазовые переходы будут охарактеризованы очень кратко, за исключением случаев, когда встречаются трудности в интерпретации.

0. *Возникновение жизни* – 4×10^9 лет назад (Orgel 1998). Биосфера после ее появления была представлена безъядерными анаэробными одноклеточными организмами – прокариотами (а также, возможно, вирусами) и, вероятно, существовала в таком виде первые 2–2,5 млрд. лет без существенных потрясений. Важно, что фотосинтезирующие бактерии появились на самых ранних этапах эволюции, на чем настаивает, в частности, школа академика Г. А. Заварзина (2003). Хотя возраст достоверных признаков фотосинтеза – 2,7 млрд. лет (Федонкин 2003), вероятные остатки фотосинтезирующих бактерий датируются возрастом 3,4–3,5 млрд. лет (Сергеев, Герасименко, Заварзин 2002). Можно сказать, что на возникновение фотосинтеза почти не потребовалось эволюционного времени по сравнению со скоростью последующей эволюции биосферы. Появление фотосинтезирующих бактерий больше похоже на заполнение новой экологической ниши (например, связанной с понижением температуры поверхности планеты), чем на преодоление эндо-экзогенного кризиса, характерного для истинного фазового перехода. Не связывая с возникновением фотосинтеза отдельный фазовый переход ПС, подчеркнем, что вопрос о происхождении фотосинтеза сложен, и такое решение может быть оспорено. Задолго до окончания господства прокариот, по-видимому, около 2,5 млрд. лет назад или даже несколько раньше, 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 (Федонкин 2003). Эукариотная фауна на фоне прокариотной существовала в форме избыточного внутреннего разнообразия.

1. *Неопротерозойская революция (кислородный кризис)* – $1,5 \times 10^9$ лет назад (Заварзин 2003; Федонкин 2003; Сергеев и др. 2002; 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 анаэроб-

ная прокариотная фауна сменилась эукариотной и примитивной многоклеточной. Признаки угнетения и вымирания первобытной анаэробной фауны отмечаются приблизительно от 2 до 1 млрд. лет назад, т. е. неопротерозойский переход занимает достаточно большой промежуток времени. 1,5 млрд. лет назад – приблизительно середина этого периода. Так как эукариоты возникли задолго до кислородного кризиса, в переходе, очевидно, был использован фактор избыточного разнообразия предыдущей фазы. Анаэробные прокариоты не исчезли, но их роль в большинстве экосистем существенно упала (аддитивность эволюции).

2. *Кембрийский взрыв (начало палеозоя)* – 570×10^6 лет назад (Кэррол 1992). В течение кембрия (570–505 млн. лет назад) появляются практически все современные филогенетические стволы многоклеточных (включая позвоночных). Он завершается ордовикской радиацией (бурный рост количества родов приблизительно 510–450 млн. лет назад).

А. В. Марков (2001), выделяя наиболее крупные переходы биосферы фанерозоя на основе изучения морской биоты, выделяет начало ордовикской радиации в качестве отдельного события, напоминающего фазовый переход биосферы (наряду с Кембрийским взрывом, началом мезозоя и кайнозоя). Однако канун ордовикской радиации не содержит явных признаков эволюционного кризиса (массовые вымирания) и поэтому не вполне вписывается в систему критериев фазового перехода, используемого в настоящей работе. Мы предполагаем, что кембрийский период несколько напоминает переходный период от прокариотной к эукариотной биосфере (2–1 млрд. лет назад) и весь может рассматриваться как затянувшийся фазовый переход. Ордовикская радиация знаменует окончание этого перехода. Очевидно, интерпретация этих событий не вполне однозначна. В течение палеозоя суша постепенно заселялась жизнью. Палеозойская эра заканчивается господством на суше земноводных, чрезвычайно разнообразных и часто гигантских и высокоспециализированных. За несколько десятков миллионов лет до окончания палеозоя возникают первые пресмыкающиеся (избыточное разнообразие), которые становятся системообразующим фактором следующей фазы развития биосферы. С выходом жизни на сушу не связывают преодоления кризисных явлений или ярко выраженных революций. Скорее, это напоминало экстенсивное заполнение новых экологических ниш, открывшихся в связи с об-

разованием мощного озонового слоя, предохраняющего поверхность суши от ультрафиолета. Когда суша была полностью освоена и все соответствующие экологические ниши заполнены, произошел следующий эволюционный кризис.

3. *Революция пресмыкающихся (начало мезозоя)* – 235×10^6 лет назад (Кэрролл 1993). Вымирают практически все виды палеозойских земноводных. На суше лидерами эволюции становятся рептилии, хотя и земноводные не исчезают полностью из экосистем. Уже в середине мезозоя появляются первые млекопитающие, но в экосистемах играют подчиненную роль (избыточное разнообразие).

4. *Революция млекопитающих (начало кайнозоя)* – 66×10^6 лет назад (Там же). Вымирают динозавры. На суше лидерами эволюции становятся млекопитающие и птицы; пресмыкающиеся не исчезают, но уходят на второй план. То, что вымирание динозавров вызвано исключительно последствиями падения гигантского метеорита, вызывает серьезную критику, так как вымирание длилось 1–2 млн. лет, а пыль и сажа могли держаться в атмосфере максимум несколько месяцев. При этом длительных глобальных климатических изменений в этот период не отмечается. Более того, утверждается, что скорость вымирания пресмыкающихся была примерно постоянной на протяжении всего мезозоя. Конец же мезозоя отличается лишь тем, что перестали появляться новые виды динозавров, что и привело к их окончательному исчезновению. Это явный признак эволюционного кризиса, хотя точная природа его остается непонятной. Не исключено, что падение гигантского метеорита вполне могло изменить течение эволюционного кризиса и, в частности, окончательно нарушить равновесие биосферы, которая уже находилась в кризисном неустойчивом состоянии.

В статье А. В. Маркова (2001) показано, что Кембрийский взрыв, начало мезозоя и кайнозоя как четкие рубежи в эволюции биосферы прослеживаются не только по наземной, но и по морской фауне. Из четырех фазовых переходов эпохи фанерозоя (Кембрийский взрыв, ордовикская радиация, начало мезозоя, начало кайнозоя), упоминавшихся Марковым, в нашу схему переходов вошли все, за исключением ордовикской радиации.

5. *Революция гоминоидов (начало неогена)* – 24×10^6 лет назад. Большой эволюционный взрыв гоминоидов (человекообразных обезьян). Между 22 и 17 млн. лет назад на Земле жили не менее 14 семейств гоминоидов, что составляет многие десятки видов –

много больше, чем сейчас (Кэрролл 1993; Биган 2004). На территории Евразии вымирают многие отряды примитивных сумчатых млекопитающих, флора и фауна принимают практически современный вид.

6. *Антропоген* – $(4-5) \times 10^6$ лет назад (Wood 1992). Семейство гоминоидов отделяется от гоминоидов. Подобно началу неогена, начало антропогена сопровождалось всплеском разнообразия *Homo*.

7. *Палеолитическая революция* – $(2,5-1,5) \times 10^6$ лет назад. *Homo habilis*, первые обработанные каменные орудия.

8. *Шелль* – $0,7 \times 10^6$ лет назад. Огонь, топорovidные орудия с поперечным лезвием (квиверы). *Homo erectus*.

9. *Ашель* – $0,4 \times 10^6$ лет назад. Стандартизованные симметричные каменные орудия. Основным представителем рода *Homo* – по-прежнему *Homo erectus*. На фоне ашельской культуры появляется неандерталец (*Homo sapiens neandertalensis*) и около 160 тыс. лет назад – *Homo sapiens sapiens* или очень близкий вид. Однако, по-видимому, ни тот ни другой не играют пока существенной роли в планетарной системе (избыточное разнообразие).

По поводу фазовых переходов 8 и 9 следует заметить, что их интерпретация и отнесение вызывают много вопросов. Эти две фазы выделяет отечественная археологическая традиция. Она, в частности, отражена в периодизации истории, использованной в статье С. П. Капицы (1996). Но существуют иные подходы. Например, в книге Р. Фоули (1990) фазовые переходы 8 и 9 объединены в один, связанный с переходом к доминированию культуры *Homo erectus* над *Homo habilis*. Такая точка зрения кажется вполне обоснованной, так как различие между культурами Шелль и Ашель не столь уж велико, но отличие их от олдувайской культуры огромно. Мы не видим решающих доводов, чтобы выбрать одну из возможностей, сделанный выбор дат достаточно произволен. Однако эта неопределенность не может качественно повлиять на сделанные нами конечные выводы.

10. *Культурная революция неандертальцев (мустье)* – $(150-100) \times 10^3$ лет назад (Борисковский 1974). Лидером эволюции становится *Homo sapiens neandertalensis*. Каменные орудия тонкой обработки, захоронение мертвых (признаки примитивных религий).

11. *Верхняя палеолитическая революция* – 40×10^3 лет назад (Там же). *Homo sapiens sapiens* вытесняет неандертальцев. Распространение «охотничьей автоматики» – копыя, дротики, ловушки,

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 2008). 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: одновременно эндо-экзогенный и техно-гуманитарный. Ответом на кризис был переход от присваивающего (охота, собирательство) к производящему (земледелие, скотоводство) хозяйству. Уже в неолите появляются предки городов, такие как Чатал-Хююк (6–7 тыс. до н. э.), Иерихон (7 тыс. до н. э.), однако на этом этапе они еще не являются существенным системообразующим фактором (избыточное разнообразие).

13. *Городская революция (начало Древнего мира)* – 4000–3000 лет до н. э. (Там же). Возникновение государств, письменности и первых правовых документов. В Евразии революция последовала за распространением бронзовых орудий, демографическим взрывом и резким обострением конкуренции за плодородные земли, сопровождавшимся чрезвычайным ростом кровопролития в межплеменных стычках. Значительная часть населения вынуждена была скрыться за стенами городов, что явилось реакцией на кризис техно-гуманитарного баланса. Таким образом, в Евразии, по крайней мере отчасти, революция городов была реакцией на кризис техно-гуманитарного баланса. Возможно, этот механизм не был универсальным. Городская революция (с некоторым запозданием) произошла и в Америке, но, видимо, ее механизмы были совсем другими. Например, города цивилизации майя в подавляющем большинстве случаев вовсе не были укрепленными пунктами и были даже лишены защитных сооружений, но являлись скорее центрами религиозного культа (Ральф 2005). Хотя революция городов – это универсальное явление, общие механизмы его остаются не вполне понятными.

14. *Имперская древность, железный век, революция Осеевого времени* – 750 лет до н. э. (Ясперс 1991; Дьяконов 1994; Назаретян 2008). Возникновение технологии получения железа около 1000–900 года до н. э. привело к тому, что оружие стало намного более дешевым, легким и эффективным. Следствием этого явилась новая

вспышка кровопролития. Ответом на кризис стало, во-первых, объединение мелких государств в более крупные образования – империи и, во-вторых, авторитарное мифологическое мышление начало вытесняться личностным, возникли представления о личности как суверенном носителе морального выбора. Это привело к почти одновременному появлению в разных местах Земли 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 промышленная революция* – 1500 год н. э. (Там же). Преодоление затяжного сельскохозяйственного кризиса первой половины второго тысячелетия н. э. Возникновение мануфактурного производства, книгопечатание, культурная революция Нового времени, становление научного метода.

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

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

19. *Кризис и распад мировой системы тоталитарной плановой экономики, информационная глобализация* – 1991 год. Распад системы тоталитарной плановой экономики сопровождался резким снижением уровня глобального военного противостояния. На это же время приходится становление мировой сети Интернет, давшей решающий импульс информационной глобализации. 19-я революция пока не является общепризнанной, но уже имеются работы, в которых она рассматривается как фазовый переход планетарной системы (Эбелинг, Файстель 2005). По некоторым чисто формальным признакам она имеет тот же статус, что и предыдущие.

Масштабная инвариантность последовательности фазовых переходов и точка сингулярности

Нетрудно видеть, что продолжительность последовательных фаз эволюции планетарной системы устойчиво сокращается от прошлого к настоящему. Это подтверждает интуитивное представление об ускорении эволюции. Более того, оказывается, что последовательность фазовых переходов в хорошем приближении обладает свойством масштабной инвариантности. Иными словами, длительность последовательных фаз эволюции образует геометрическую прогрессию, и различные части этой последовательности могут быть получены друг из друга простым масштабным преобразованием – сжатием или растяжением.

Масштабно-инвариантная последовательность точек 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 – продолжительность всего описываемого промежутка времени; n представляет собой номер фазового перехода; t^* – предел последовательности фазовых переходов $\{t_n\}$. На существование предела последовательности фазовых переходов обратил внимание И. М. Дьяконов. Он рассматривал эту точку как сингулярность исторического процесса, но ее можно также называть точкой сингулярности эволюции, так как она является пределом последовательности фазовых переходов всей планетарной системы, 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. Существование сингулярности наглядно иллюстрирует рис. 1.

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

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

Зависимость расстояния между точкой фазового перехода и сингулярностью от номера точки в логарифмическом масштабе должна быть приблизительно прямой линией.

Результат такого анализа показан на рис. 2. Фазовый переход 1991 года не был использован в обработке. Видно, что последовательность фазовых переходов биосферы неплохо укладывается на прямой линии. Можно сказать, что существует масштабно-инвариантный аттрактор эволюции (прямая линия на рис. 2). Реальная эволюция следует этому аттрактору с относительно малыми флуктуациями. 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 $\alpha \approx e = 2,718...$ Есть ли в этом глубокий смысл? Заметим также, что так как $t^* = 2004$ год, то мы живем вблизи конечной точки цикла масштабно-инвариантной эволюции длительностью около 4 млрд. лет.

По поводу характера полученного результата надо сделать одно важное замечание. Помимо учтенных событий, которые трактовались как «планетарные революции», существует множество более мелких событий, которые также означают вполне заметные изменения в планетарной системе. 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 также означающие различные периоды 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 точная формулировка полученного результата состоит в том, что в череде событий планетарной системы 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 весьма интересная математическая модель демографических кризисов (Белавин и др. 1998). Эту модель можно рассматривать как грубое отражение социальной истории человечества, где на первый план выводятся демографические факторы. Модель по-

казывает, что на гиперболический рост населения Земли накладываются многочисленные колебания. Если учитывать все колебания, включая самые мелкие, то распределение 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), которые образуют приблизительно масштабно-инвариантную последовательность, сходящуюся к точке сингулярности. После точки сингулярности система погибает или меняет режим эволюции. Интересно, что за время своей эволюции до точки сингулярности система проходит лишь через конечное и не очень большое (10–20) число глубоких кризисов. Следовательно, если выбрать правильное значение порога амплитуды колебаний и отбросить все более мелкие колебания, то останется чистая масштабно-инвариантная последовательность демографических кризисов.

Это весьма напоминает то, что было получено в нашем анализе фазовых переходов планетарной системы. Вид кривой распределения демографических кризисов по времени (Белавин и др. 1998) поразительно напоминает кривую на рис. 2, включая даже степень нарушения точной масштабной инвариантности.

Не стоит придавать полученной точной дате сингулярности эволюции – 2004 году – очень большое значение. Если обрабатывать разные участки полученной кривой, то и даты будут разными. Например, точки, относящиеся к новой эре, дают положение сингулярности в 2015 году, а аналогичный анализ, проведенный только по восьми фазовым переходам И. М. Дьяконова, приводит к значению 2064 год (Панов 2006). Поскольку масштабная инвариантность эволюции имеет место только в некотором приближении, то и сингулярность эволюции оказывается приблизительно понятием. На основании проведенного анализа можно сказать, что вся первая половина XXI века в истории эволюции планетарной системы имеет особый смысл как очень краткий период, завершающий масштабно-инвариантную эволюцию длительностью 4 млрд. лет. За этот «сингулярный период» эволюция даже приблизительно не может быть проэкстраполирована в прежнем режиме масштабно-инвариантного ускорения.

Революция 1991 года почти идеально ложится на экстраполяцию масштабно-инвариантной зависимости: $1950 + (1950 - 1835)/2,67 \approx 1993$. Это подтверждает статус данного события как глобального перехода планетарной системы. Да и по сути оно является таковым.

Достаточно отметить резкое снижение уровня глобального ядерного противостояния, а ядерный конфликт имел бы поистине планетарный масштаб. Налицо также преодоление некоторых глобальных кризисов, что и является наиболее характерной чертой фазового перехода.

В заключение раздела еще раз подчеркнем, что выделенная последовательность фазовых переходов планетарной системы имеет статус научного результата только в том смысле, что каждое из использованных событий является научно подтвержденным фактом. Интерпретация же всего набора точек как набора самых существенных фазовых переходов планетарной системы, а также весь последующий анализ этого набора имеют характер эвристической гипотезы и выходят за пределы научной строгости.

Другие пути к сингулярности

Результаты настоящей работы не являются совершенно оригинальными. Так, Г. Д. Снукс, исследуя изменения биосферы, в 1996 году предложил значение $\alpha = 3$ для фактора ускорения эволюции, выражая ее в терминах длительности «волн жизни», генерируемых биологическими и технологическими изменениями (Snooks 1996). Дьяконов отметил экспоненциальное ускорение социальной эволюции (без количественной оценки показателя ускорения) от неолитической революции до наших дней и указал, что из характера ускорения следует существование «сингулярности истории» в недалеком будущем (также без количественной оценки). Капица (1996) предложил величину $\alpha \approx e$ для фактора ускорения эволюции начиная с возникновения гоминид, $(4-5) \times 10^6$ лет назад, до настоящего времени. Наша оценка (2) подтверждает более ранние вычисления для биологической и социальной эволюции, 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 эвристического типа. Однако важно, что к представлениям о масштабной инвариантности эволюции либо истории и к вытекающему отсюда существованию точки сингулярности приходят разные авторы, исходя из совершенно разных соображений. Хорошо известны демографические исследования Капицы (1996), предсказывающие точку обострения автомодельного закона роста народонаселения Земли в 2027 году. А. Е. Чучин-Русов (2002) пред-

сказывает точку сингулярности (в его терминологии – точка схождения) в 2015 году на основе анализа масштабно-инвариантной последовательности «культурно-экологических формаций». С. Н. Гринченко (2004), рассматривая последовательность шагов формирования «механизмов системной памяти», приходит к масштабной инвариантности этой последовательности и к существованию точки сингулярности в 1981 году. Этот список далеко не полон. Как нам представляется, именно наличие различных путей, приводящих к представлениям о масштабной инвариантности и сингулярности эволюции, а также близость предсказываемых дат для положения сингулярности заставляют отнестись к этим результатам достаточно серьезно.

Постсингулярный рукав эволюции

Вблизи точки сингулярности скорость эволюции формально должна была бы обратиться в бесконечность, что, видимо, невозможно. Отсюда следует, что характер эволюции на Земле неизбежно должен измениться в ближайшем будущем или уже изменился. Мы находимся в начале совершенно нового – постсингулярного – рукава эволюции.

Как уже отмечалось, человечество в настоящее время находится в предкризисном состоянии. По многим параметрам надвигающийся кризис напоминает те, что уже случались раньше. Например, имеют место исчерпание ресурсов на данном уровне развития системы и экологический кризис. Но это случалось и раньше – достаточно вспомнить кислородный кризис, который привел к неопротерозойской революции, или кризис верхнего палеолита, ставший предпосылкой неолитической революции. Однако очевидно, что на этот раз развитие кризиса по времени совпадает со временем завершения всего масштабно-инвариантного аттрактора планетарной эволюции – с моментом сингулярности истории. Поэтому приближающийся эволюционный кризис, по всей видимости, – это не обычный эволюционный кризис, каких было много в истории планетарной системы, это кризис всего аттрактора планетарной эволюции. Можно сказать, что это кризис самого предшествующего кризисного характера эволюции, кризис кризисов. Трудно делать отдаленные прогнозы развития цивилизации, но одно предсказание можно сделать с полной определенностью: *в обозримом будущем эффекта ускорения исторического времени больше не будет,*

так как мы уже находимся вблизи точки, в которой эта скорость должна стать формально бесконечной. Так как в истории бесконечные скорости недостижимы², то характер эволюции всей планетарной системы неизбежно должен глубочайшим образом измениться: история должна пройти через точку сингулярности и пойти по совершенно новому руслу. Важно отметить, что *проход через точку сингулярности вовсе не означает неминуемую катастрофу для человечества*. Это означает только, что цивилизация входит в новый рукав истории, или, точнее, планетарная система входит в новый, постсингулярный рукав эволюции. Скорее всего, точка кризиса глобального аттрактора истории является и точкой бифуркации – возможны разные результаты преодоления точки сингулярности и разные траектории развития в постсингулярной стадии. От деталей поведения цивилизации зависит, что это будет за траектория. Глобальная катастрофа, к сожалению, остается одной из возможностей.

Одним из признаков того, что земная биосфера уже вступает в постсингулярный рукав эволюции, может быть удивительное явление демографического перехода. 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. Это нарушение основного закона эволюции, который раньше неизменно выполнялся в течение 4 млрд. лет³.

Отметим еще одно любопытное явление, на которое редко обращают внимание. Оно связано с представлением об аддитивности эволюции. При возникновении более высоких эволюционных уровней старые уровни хотя и не элиминируются полностью, но всегда существенно подавляются. Распространившиеся после неопротерозойской революции эукариоты вытеснили прокариот из прежних экологических ниш и существенно снизили их многообра-

² Существует и иное мнение, связанное с представлением о технологической или информационной сингулярности, где сингулярность приобретает буквальный смысл. Но мы не будем здесь обсуждать этот круг представлений.

³ Возможным контрпримером является спад населения в поздней Римской империи. Однако по сравнению с современным глобальным демографическим переходом он носил локальный характер и был как-то связан с кризисными явлениями, имевшими место в этом регионе накануне распада империи. Не вполне понятно также, насколько материальные условия жизни были близки к изобилию. Однако вопрос о том, не является ли современный демографический переход выражением лишь некоторых кризисных явлений, возможно, временных, вполне правомерен.

зие; мезозойские пресмыкающиеся подавили фауну земноводных и т. д. Будь у первобытных эукариот разум и совесть, можно представить, как бы они сокрушались по поводу уничтожения фауны несчастных прокариот. Но биосфера не обладала ни разумом, ни совестью, поэтому высшие эволюционные формы безжалостно уничтожали низшие до приемлемого для них уровня.

Деградация биосферы под давлением технологической цивилизации – вполне закономерное продолжение этого закона эволюции. Удивляться нужно другому. Мы сокрушаемся по поводу жестокости цивилизации в отношении к природе, однако не замечаем, что впервые закономерный процесс подавления низших эволюционных уровней высшими сопровождается отрицательной обратной связью, организованной по инициативе более высокого эволюционного уровня (цивилизации в данном случае), причем часто – в ущерб темпам его собственного развития. Разного рода природоохранные мероприятия и постепенное формирование экологического сознания являются такой отрицательной обратной связью. Сколько бы ни говорили, что эти процессы пока недостаточно эффективны, надо ясно понимать, что раньше в истории эволюции вообще не было ничего подобного. То, что более высокий эволюционный уровень целенаправленно пытается сохранить предыдущий, является принципиально новым эволюционным фактором, который также фактически означает изменение законов эволюции. Интересно, что значение этого фактора существенно возросло в последние несколько десятилетий, как раз при приближении к сингулярности эволюции, и, очевидно, значение его будет стремительно возрастать.

Несмотря на кризисный характер, вся предшествующая история планетарной системы следует единственному гладкому аттрактору, характеризующемуся масштабно-инвариантным ускорением исторического времени. Понятие аттрактора обычно определяется как траектория в пространстве состояний системы, к которой притягиваются все реальные траектории. Здесь понятие аттрактора имеет именно этот смысл. Планетарная система ведет себя так, как будто после возмущений она всегда стремится вернуться к масштабно-инвариантному режиму эволюции с показателем ускорения $\alpha \approx 2,67$. Аттрактором истории является идеальная масштабно-инвариантная последовательность точек, вокруг которой флуктуируют точки реальных революций.

Аттрактор эволюции имеет до такой степени неслучайный вид, что разумно предположить: он связан с фундаментальными меха-

низмами эволюции. Отсюда следует, что вместе с концом масштабно-инвариантного аттрактора весь характер эволюции планетарной системы, включая, быть может, и ее движущие силы, должен глубочайшим образом измениться. История должна пройти через точку сингулярности и пойти по совершенно новому руслу. Наш феноменологический анализ не дает возможности предсказать, что это будет за путь. Такой анализ не столько предсказывает, что будет, сколько дает ограничения на все возможные предсказания в том смысле, что он указывает, чего не может быть, – не может быть дальнейшего экспоненциального ускорения эволюции.

Однако, получив столь фундаментальное ограничение на отдаленное будущее, трудно удержаться от искушения попытаться заглянуть за точку сингулярности и постараться понять, что же может представлять собой *постсингулярная цивилизация*. Такой анализ неизбежно будет в весьма высокой степени спекулятивным.

Из-за процессов глобализации человеческая цивилизация вынуждена будет преодолевать надвигающийся системный кризис, связанный с прохождением через сингулярность, как единое целое. Либо она как единая система его преодолеет, либо ее ждет глобальная катастрофа. Это существенно отличает механизм преодоления кризиса сингулярности от предыдущих цивилизационных кризисов. Тогда эволюция всегда имела возможность принести в жертву недостаточно гибкие подсистемы цивилизации и, воспользовавшись избыточным разнообразием, передать лидерство более удачливым подсистемам. Можно сказать, что с достижением точки сингулярности уровень отбора переносится с внутрипланетарного на галактический, и с этого момента начинается заочная конкуренция Земли с другими космическими цивилизациями. Здесь не идет речь о прямых столкновениях цивилизаций, но будущую (или уже существующую?) галактическую культурную среду (если такая вообще возможна) формируют или будут формировать те космические цивилизации, которые сумели пройти отбор точки сингулярности.

Что же ждет цивилизацию за точкой сингулярности, если она будет преодолена? В связи с этим вопросом полезно обратить внимание на характер реализации космических программ.

Прогнозы 70-х годов XX века по развитию космической техники и освоению космического пространства на период до 2000 года оказались чрезвычайно завышенными, и намечающиеся *планы* остались нереализованными. Вот только несколько примеров. В 1974 году известный специалист К. Эрик, занятый в космической программе

США, заявлял, что после 1985 года будет введена в строй орбитальная космическая станция на 25–100 человек. В начале 1970-х годов к 2000 году предполагалось ввести в строй космическую солнечную электростанцию на стационарной орбите со сроком эксплуатации 30 лет, мощностью 5 млн. кВт, с площадью солнечных батарей 45 км². Масса сооружения должна была составить 9570 т., получаемая энергия должна была транспортироваться на Землю с помощью микроволнового излучения. При этом уже в 1990–1992 годах предполагались монтаж прототипа станции на низкой орбите для опытов дискретной передачи энергии и создание прототипа станции на стационарной орбите в 1997 году (Левантовский 1976). Я, хотя и был тогда подростком, прекрасно помню выпуски журналов «Америка» начала 70-х годов, в которых пропагандировалась американская космическая программа. Марсианская экспедиция к концу 1990-х с использованием ядерных ракетных двигателей, лунные программы... Какие были ожидания! И ядерные двигатели для межпланетных перелетов даже были созданы (Паневин и др. 1978), но так и не были использованы.

Важно отметить, что все эти программы отнюдь не были фантастикой, они были хорошо технически обоснованы и при сохранении предполагавшегося уровня финансирования значительная часть программ могла быть реализована. Но динамика общества резко изменилась, и программы не были востребованы. Основанные на линейной экстраполяции темпов технического развития 50-х – 60-х годов, они оказались несостоятельными. Частично причина сворачивания космических программ состояла в том, что они оказались заметно дороже, чем предполагалось. Это выяснилось при реализации проекта американского корабля многоразового использования. Другой причиной было резкое снижение финансирования космических программ по сравнению с первоначальными планами, что уже продемонстрировало изменяющееся направление вектора эволюции. Показательно, что общественное сознание практически не заметило краха всех этих космических надежд. А ведь космическая техника – важнейшая компонента современной цивилизации! Это говорит о глубоких изменениях в общественном сознании в последней четверти XX века.

Распространенная одно время точка зрения, что проблемы экстенсивного технологического взрыва, роста населения, исчерпания невозполнимых ресурсов можно преодолеть за счет продолжения экстенсивного технологического прорыва в космос, оказалась без-

основательной. И дело даже не только в том, что интерес к освоению космического пространства реально резко упал. Объективной причиной невозможности непрерывного экстенсивного развития цивилизации за счет выхода в космос является то, что времени на подготовку масштабного выхода в космос в течение технологического взрыва (несколько десятков лет), видимо, принципиально не хватает. За такой короткий срок просто физически невозможно аккумулировать такое количество ресурсов, чтобы создать достаточно дешевые и экологически безопасные средства вывода большого количества грузов и людей на околоземную орбиту. Экстенсивный рост цивилизации без выхода за пределы Земли, связанный с наращиванием энергетических ресурсов, тоже невозможен, так как это очень быстро приведет к перегреву атмосферы.

Таким образом, если цивилизация намерена пережить точку сингулярности, то на какое-то, возможно, весьма длительное, время после завершения масштабного инвариантного исторического аттрактора она должна обеспечить себе стабильное существование на Земле без надежды на скорую космическую экспансию. Если масштабная космическая экспансия и возможна, то она не будет продолжением технологического взрыва, завершающего масштабный инвариантный аттрактор планетарной цивилизации, и произойдет на совершенно иной эволюционной основе, в постсингулярном цикле эволюции. Поэтому остается предположить, что экстенсивное развитие цивилизации, которое и позволяло следовать масштабному инвариантному аттрактору, должно смениться формой интенсивного развития, развития вглубь, характеризующейся неизменными или падающими темпами.

Хотелось бы предостеречь от упрощенного понимания «стабилизации» цивилизации в постсингулярной стадии. Постсингулярное общество не может быть и не будет обществом всеобщего благополучия и благоденствия. Вероятные нелегкие проблемы постсингулярной цивилизации и пути их решения обсуждались нами (конечно, чисто спекулятивно) в работах (Панов 2007, 2008).

Альтернативой интенсивному пути развития, как нам представляется, является либо распад цивилизации, либо путь развития, который в настоящее время следовало бы назвать *парадоксальным*. Это такой путь, который связан с существенным выходом за пределы современной научной парадигмы. Воздержимся от обсуждения парадоксальных сценариев.

Литература

Белавин, В. А., Капица, С. П., Курдюмов, С. П. 1998. Математическая модель глобальных демографических процессов с учетом пространственного распределения. *Журнал вычислительной математики и математической физики*. Т. 38(6): 885–902.

Биган, Д. 2004. Планета человекообразных. *В мире науки* 11: 68–77.

Борисковский, П. И. 1974. Мустьерская культура. *БСЭ*. Т. 17: 134. М.: Советская энциклопедия.

Галимов, Э. М. 2001. *Феномен жизни: между равновесием и нелинейностью. Происхождение и принципы эволюции*. М.: УРСС.

Гринченко, С. Н. 2004. *Системная память живого (как основа его метаэволюции и периодической структуры)*. М.: Мир.

Дьяконов, И. М. 1994. *Пути истории. От древнейшего человека до наших дней*. М.: Вост. лит-ра.

Заварзин, Г. А. 2003. Становление системы биогеохимических циклов. *Палеонтологический журнал* 6: 16–24.

Капица, С. П. 1996. Феноменологическая теория роста населения Земли. *Успехи физических наук*. Т. 166(1): 63–80.

Колчинский, Э. И. 2002. *Неокатастрофизм и селекционизм: вечная дилемма или возможность синтеза?* СПб.: Наука.

Кэрролл, Р.

1992. *Палеонтология и эволюция позвоночных*: в 3 т. Т. 1. М.: Мир.

1993. *Палеонтология и эволюция позвоночных*: в 3 т. Т. 2. М.: Мир.

Левантовский, В. И. 1976. *Транспортные космические системы*. М.: Знание.

Марков, А. В. 2001. Новый подход к моделированию динамики разнообразия фанерозойской биоты. *Журнал общей биологии*. Т. 62(6): 460–471.

Назаретян, А. П.

2004. *Цивилизационные кризисы в контексте Универсальной истории. Синергетика – психология – прогнозирование*. М.: Мир.

2008. *Антропология насилия и культура самоорганизации: Очерки по эволюционно-исторической психологии*. М.: УРСС.

Паневин, И. Г., Прищепа, В. И., Хазов, В. Н. 1978. *Космические ядерные ракетные двигатели*. М.: Знание.

Панов, А. Д.

2006. Сингулярность Дьяконова. *История и математика: Проблемы периодизации исторических макропроцессов* / под ред. С. П. Капицы, А. Д. Панова, С. Н. Гринченко, Л. Е. Гринина, С. Ю. Малкова и А. В. Коротчаева (с. 31–37). М.: КомКнига.

2007. «Экзогуманитарные» цивилизации как потенциальные партнеры по межзвездной связи и возможные носители галактического культурного поля. *Бюлл. спец. астрофизич. обсерв.* Т. 60–61: 162–172.

2008. *Универсальная эволюция и проблема поиска внеземного разума (SETI)*. М.: УРСС.

Ральф, У. 2005. *Майя. Быт, религия, культура*. М.: Центрполиграф.

Розанов, А. Ю. 2003. Ископаемые бактерии, седиментогенез и ранние стадии эволюции биосферы. *Палеонтологический журнал* 6: 41–49.

Сергеев, В. Н., Герасименко, Л. М., Заварзин, Г. А. 2002. Протерозойская история цианобактерий и их современное состояние. *Микробиология*. Т. 71(6): 725–740.

Федонкин, М. А. 2003. Сужение геохимического базиса жизни и эукариотизация биосферы: причинная связь. *Палеонтологический журнал* 6: 33–40.

Фоули, Р. 1990. *Еще один неповторимый вид*. М.: Мир.

Чучин-Русов, А. Е. 2002. *Единое поле мировой культуры. Кижли-концепция*. Кн. 1. *Теория единого поля*. М.: Прогресс-Традиция.

Эбелинг, В., Файстель, Р. 2005. *Хаос и космос: синергетика эволюции*. Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика.

Ясперс, К. 1991. *Смысл и назначение истории*. М.: Политиздат.

Jones, S. (ed.) 1994. *The Cambridge Encyclopedia of Human Evolution*. Cambridge: Cambridge Univ. Press.

Orgel, L. E. 1998. The origin of life – How long did it take? *Origins of Life and Evolution of Biospheres* 28: 91–96.

Snooks, G. D.

1996. *The Dynamic Society. Exploring the Source of Global Change*. London; N. Y.: Routledge.

2003. *The Collapse of Darwinism or the Rise of a Realist Theory of Life*. N. Y.: Lexington Books.

Wood, B. 1992. Origin and evolution of the genus homo. *Nature* 355: 783–790.

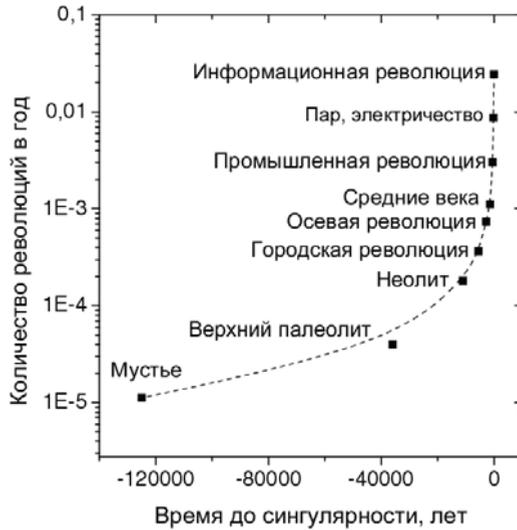


Рис. 1. Наглядное представление сингулярности эволюции и существования режима с обострением. Показаны точки, отвечающие лишь нескольким последним фазовым переходам. По оси ординат отложено количество фазовых переходов в год, аппроксимированное просто как обратный промежуток между фазовыми переходами. По оси абсцисс – абсолютное время фазового перехода, отсчитанное от точки сингулярности



Рис. 2. Масштабная инвариантность распределения биосферных фазовых переходов во времени. Треугольники – чисто биосферные переходы, квадратики – переходы в социальной истории. Прямая линия – масштабно-инвариантный аттрактор эволюции на Земле