

Эволюция и проблема SETI

А. Д. Панов
НИИЯФ МГУ, г. Москва

Памяти Виктория Шварцмана

Содержание

Предисловие	2
1 Масштабная инвариантность социально-биологической эволюции на Земле и гипотеза универсальной шкалы времени эволюции	3
1.1 Характер планетарной эволюции	3
1.2 Последовательность биосферных фазовых переходов	5
1.3 Масштабная инвариантность последовательности фазовых переходов и точка сингулярности	10
1.4 Постсингулярный рукав эволюции	13
1.5 Универсальность шкалы времени эволюции и точки сингулярности	14
1.6 Другие пути к сингулярности	15
2 Шкала времени предбиологической эволюции и гипотеза самосогласованного галактического происхождения жизни	16
2.1 «Естественная» длительность предбиологической эволюции на изолированной планете	16
2.2 Гипотеза биологической и предбиологической панспермии	17
2.3 Масштаб времени панспермии	19
2.4 Механизм самосогласования и ускорения предбиологической эволюции на уровне Галактики	21
3 Динамические обобщения формулы Дрейка: линейная теория.	23
3.1 Формула Дрейка и теория Крейфелдта-Гиндилиса	24
3.2 Модельные функции и определяемые величины	26
3.3 Кинетические уравнения популяции звезд и популяции цивилизаций	29
3.4 Результаты вычислений в линейной теории	33
3.5 Гипотеза самосогласованного галактического происхождения жизни и динамика популяции КЦ	37
4 Динамические обобщения формулы Дрейка: нелинейная теория.	39
4.1 Нелинейные процессы в популяции космических цивилизаций	39
4.2 Общая нелинейная теория влияния по каналам связи	41

4.3	Численно решаемая нелинейная модель	44
4.4	Результаты расчетов в нелинейной модели	47
4.5	Астросоциологический парадокс и эра насыщения контактов	50
4.6	Пространственная неоднородность распределения КЦ и возможность подпорогового перехода в эру насыщения контактов	51
5	«Экзогуманитарные» цивилизации как потенциальные партнеры по межзвездной связи и возможные носители галактического культур- ного поля	52
5.1	Замечания о методике	52
5.2	«Экзогуманизм» постсингулярной цивилизации	53
5.3	Космическая экспансия и интенсивный путь развития	56
5.4	Информационный кризис	57
5.5	Коммуникативность постсингулярных цивилизаций	62
5.6	Галактическое культурное поле и характер информации космических передач	64
5.7	Заключительные замечания	68
	Приложение. Теория Крейфелдта-Гиндилиса как специальный случай общей линейной теории	69
	Список литературы	70

Предисловие

Данная статья основана на серии из трех докладов, представленных автором на конференции «Горизонты астрономии и SETI»¹, которая проходила с 25 по 30 сентября 2005 года в поселке Нижний Архыз в САО РАН. Эти три доклада являются по сути одной работой, состоящей из пяти частей. Первый доклад объединял первую и вторую части, второй доклад — третью и четвертую, третий доклад включал пятую часть. Части разнородны по характеру, но связываются рядом общих идей. В данной статье каждой части соответствует отдельный раздел. Разделы 1 и 2 имеют естественно-научный характер и касаются общего характера эволюции на планетах земного типа, разделы 3 и 4 посвящены некоторым математическим моделям, дающим динамическое обобщение формулы Дрейка для описания динамики популяции коммуникативных цивилизаций в Галактике, раздел 5 имеет социально-философский и футурологический оттенок и посвящен обсуждению характера потенциального партнера по межзвездной связи. Автор надеется, что для понимания 3-го и 4-го разделов нет необходимости вникать во все детали математического формализма (который представлен в статье), так как физический смысл полученных результатов достаточно прост, и может быть понят из рисунков и графиков и пояснений в тексте. Более того, для понимания раздела 5 чтение разделов 3 и 4 не является необходимым, так как существенные для дальнейшего выводы этих разделов суммированы в начале раздела 5.6.

¹SETI — Search for Extraterrestrial Intelligence, проблема поиска внеземного разума.

1 Масштабная инвариантность социально-биологической эволюции на Земле и гипотеза универсальной шкалы времени эволюции

Количество космотехнологических² коммуникативных цивилизаций (КЦ) в Галактике определяется характеристиками эволюционного процесса, который может приводить к возникновению жизни и разума, а также длительностью и характером коммуникативной фазы развития цивилизаций. В этом разделе будут рассмотрены некоторые гипотезы, позволяющие предложить шкалу времени биологической и социальной эволюции, а также позволяющие по-новому сформулировать вопрос о возможном характере цивилизаций — потенциальных партнеров по SETI-контакту. Существенно, что в рамках предлагаемого подхода удастся с единой точки зрения рассмотреть некоторые весьма различные, на первый взгляд, проблемы.

1.1 Характер планетарной эволюции

История жизни на Земле начинается с возникновения биосферы около 4×10^9 лет назад [1] и продолжается историей человечества после возникновения рода *Homo* ($4 - 5$) $\times 10^6$ лет назад [2]. В механизмах эволюции биосферы как таковой, и человечества имеется много общего [3, 4, 5, 6]. Имеет смысл 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) будет пониматься такая система, которая на ранних этапах развития отождествляется с биосферой в обычном понимании, но включает цивилизацию на 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* уже всего за два-три десятка миллионов 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 (если вообще признавать ее осмысленной), и трудно надеяться на ее исчерпывающее решение. Ниже, в качестве 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 видов эволюции. Для того, чтобы ввести соответствующие представления, следует исходить из некоторой модели эволюции. Здесь мы лишь кратко на-

²Уже *Homo habilis* около полутора миллионов лет назад владел технологией изготовления каменных орудий, поэтому уже тогда цивилизация Земли была технологической. Под космотехнологической цивилизацией будет пониматься цивилизация, владеющая космическими технологиями: космической связью, космическим транспортом и т.д. При обсуждении потенциальных партнеров по SETI-контакту корректно говорить не о технологических, а о космотехнологических цивилизациях.

метим основные черты такой модели. Несколько более подробное обсуждение можно найти в нашей статье [7]. Излагаемые ниже эволюционные представления основаны, главным образом, на книгах [6, 8, 9, 10] и представляют собой некоторый синтез идей, представленных в этих работах. Степень последовательности и согласованности этого синтеза остается на совести автора.

Начнем с замечания, что ПС в некотором приближении развивается как единая система, поэтому в том же приближении можно говорить об этапах эволюции ПС как целого. На начальном этапе эволюции можно говорить о прокариотной фазе развития ПС, затем о периоде доминирования примитивных эвкариот, на поздних этапах развития ПС можно говорить 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) либо вовсе не следующие за основной магистральной линией эволюции ПС (фауна «черных курильщиков»), так и некие «ростки нового», в каком-то смысле обгоняющие свое время (факторы избыточного многообразия, см. ниже).

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 в каком-то смысле 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 вулкана. Двумя важными механизмами эволюционных кризисов являются эндо-экзогенный и техно-гуманитарный механизмы (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 разрушительного фактора технологии без адекватного роста его культурных сдержек. Оба механизма на социальной стадии развития ПС нередко действуют совместно. Конечно, эти два механизма хоть и важны, но не исчерпывают все многообразие причин эволюционных кризисов.

Эволюционные кризисы преодолеваются планетарной системой за счет усложнения собственной структуры и перехода к равновесию 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 и удаление 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 динозавры.

Существенную роль в преодолении эволюционных кризисов играет так называемый фактор избыточного внутреннего разнообразия. Под избыточным разнообразием понимаются эволюционные формы, не играющие существенной системообразу-

ющей роли на определенной фазе развития ПС. В момент эволюционного кризиса именно из избыточного многообразия путем отбора выделяются те эволюционные формы, которые становятся лидерами эволюции на новой фазе развития ПС.

Одним из существенных 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 эвкариотной биосферы не означает исчезновение прокариот, после неолитической революции аграрное производство не вытесняет полностью охоту и собирательство, становление научного метода познания природы не отменяет философию и религию и т. д.

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

1.2 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 следующий ниже 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 это следует из приведенной выше модели эволюции, и 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 (см. ниже), события истории человечества соответствуют периодизации, предложенной И. М. Дьяконовым [10] (восемь фазовых переходов Дьяконова) и С. П. Капицей [11].

Последовательность биосферных революций приведена ниже с нумерацией начиная с нуля. Даты в списке представлены весьма приблизительно, но высокая точность и не требуется в последующем анализе. Более того, в большинстве случаев фазовые переходы занимали более или менее длительные отрезки времени, не имеющие четкого начала и конца, поэтому надо ясно понимать, что представление фазового перехода точкой во времени — это модельное представление. Если каждую

дату сдвинуть в прошлое или будущее случайным образом на величину примерно до 30% от ее абсолютного значения, основные выводы не изменятся. Ниже фазовые переходы, как правило, будут характеризованы очень кратко за исключением случаев, когда встречаются трудности в интерпретации.

0. *Возникновение жизни* – 4×10^9 лет назад [1]. 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 существенных потрясений. Важно, что фотосинтезирующие бактерии появились на самых ранних этапах эволюции, на чем настаивает, в частности, школа академика Г. А. Заварзина [12]. Хотя достоверные признаки фотосинтеза имеют возраст 2,7 млрд. лет [13], вероятные остатки фотосинтезирующих цианобактерий датируются возрастом 3,4–3,5 млрд. лет [14]. 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. К вопросу о том, как мог так быстро возникнуть механизм фотосинтеза, мы вернемся в разделе 2.2. Мы не будем связывать с возникновением фотосинтеза отдельный фазовый переход ПС, хотя 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 эвкариоты 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) [13]. Эвкариотная фауна на фоне прокариотной существовала в форме избыточного внутреннего разнообразия.

1. *Неопротерозойская революция (Кислородный кризис)* – $1,5 \times 10^9$ лет назад [14, 12, 13, 15]. 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, очевидно, был использован фактор избыточного многообразия 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 [16]. В течение Кембрия (570–505 млн. лет назад) появляются практически все современные филогенетические стволы многоклеточных (включая позвоночных). Он завершается ордовикской радиацией [17] (рост количества родов приблизительно 510–450 млн. лет назад). Отметим, что А. В. Марков [17], выделяя наиболее крупные переходы биосферы фанерозоя на основании изучения морской биоты, относит начало ордовикской радиации к событиям, напоминающим 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 весь Кембрийский период несколько напоминает переходный период от прокариотной к эвкариотной биосфере (2–1 млрд. лет назад) и целиком 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 образованием 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 [18, 19]. 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 многообразие).

4. *Революция млекопитающих (Начало Кайнозоя)* – 66×10^6 лет назад [18, 19]. 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 динозавров длилось 1-2 млн. лет, а пыль и сажа могла держаться в атмосфере максимум несколько месяцев. При этом длительных глобальных климатических изменений в этот период не отмечается. Более того, утверждается [18, стр. 136], 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 является явным признаком эволюционного кризиса, хотя точная природа его остается непонятной.

Здесь отметим, в статье А. В. Маркова [17] показано, что Кембрийский взрыв, начало Мезозоя и Кайнозоя как четкие рубежи в эволюции биосферы прослеживается не только по наземной, но и по морской фауне. Вообще, из четырех фазовых переходов эпохи фанерозоя (Кембрийский взрыв, ордовикская радиация, начало Мезозоя, начало Кайнозоя), упоминавшихся А. В. Марковым, в нашу схему переходов вошли все, за исключением ордовикской радиации. О возможном особом статусе ордовикской радиации было сказано выше.

5. *Революция гоминоидов, начало Неогена* – 24×10^6 лет назад [19, 20]. Большой эволюционный взрыв гоминоидов (человекообразных обезьян). Между 22-мя и 17-ю миллионами лет назад на Земле жило не менее 14 отрядов гоминоидов, что составляет многие десятки видов — много больше, чем сейчас [19, 20]. На территории

Евразии вымирают многие отряды примитивных сумчатых млекопитающих, флора и фауна принимают практически современный вид³.

6. *Антропоген* – $(4 - 5) \times 10^6$ лет назад [2]. Первые примитивные люди (*Homo*, гоминоиды) отделяются от гоминоидов. Подобно началу Неогена, начало антропогена сопровождалось всплеском разнообразия *Homo*.

7. *Палеолитическая революция* – $(2 - 1,5) \times 10^6$ лет назад [21]. *Homo habilis*, первые обработанные каменные орудия.

8. *Шелль* – $0,7 \times 10^6$ лет назад [22]. Огонь, топорovidные орудия с поперечным лезвием (клинверы). *Homo erectus*.

9. *Ашель* – $0,4 \times 10^6$ лет назад [23]. Стандартизированные симметричные каменные орудия. Основной представитель *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 играет пока существенной роли в планетарной системе (избыточное разнообразие).

По поводу фазовых переходов 8 и 9 следует заметить, что их интерпретация и отнесение вызывает много вопросов. Эти две фазы выделяет отечественная археологическая традиция. Она, в частности, отражена в периодизации истории, использованной в статье С. П. Капицы [11]. Но существуют иные подходы. Например, в книге Р. Фоули [24] 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 культуры нижнего палеолита огромно. Так как мы не видим решающих доводов, чтобы выбрать одну из возможностей, сделанный выбор дат достаточно произволен. Однако надо заметить, что эта неопределенность не может качественно повлиять на конечные выводы, к которым мы приходим (и даже количественно – весьма слабо).

10. *Культурная революция неандертальцев (Мустье)* – $(150 - 100) \times 10^3$ лет назад [25]. Лидером эволюции становится *Homo sapiens neandertalensis*. Каменные орудия тонкой обработки, захоронение мертвых (признаки примитивных религий).

11. *Верхняя палеолитическая революция* – 40×10^3 лет назад [26]. *Homo sapiens sapiens* вытесняет неандертальцев. Распространение «охотничьей автоматике» — копья, 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 [10, 6]. 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

³Чрезвычайно интересно, что между 30-ю и 20-ю миллионами лет назад обрывается, выходя на плато, длительный гиперболический рост разнообразия биосферы, выраженный в терминах суммарной продолжительности существования родов. Об этом в качестве дискуссионного предположения сообщает А. В. Марков на интернет-сайте по адресу <http://macroevolution.narod.ru/thoughts.htm#growth>. Такое впечатление, что начало неогена является моментом, когда чисто биологическая эволюция на Земле *меняется* социальной. Таким образом, еще одно критическое событие в истории биосферы, упомянутое А. В. Марковым, также включено в нашу классификацию.

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. [10, 6]. Возникновение государств, письменности и первых правовых документов. 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 было реакцией на кризис техно-гуманитарного баланса.

14. *Имперская древность, Железный век, революция Осеевого времени* – 750 лет до н. э. [10, 6, 27]. 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 стала новая вспышка кровопролития, которая стала существенно тормозить торговые отношения и дальнейший прогресс общества. Ответом на кризис стало, во-первых, объединение мелких государств в более крупные образования – империи, и, во-вторых, авторитарное мифологическое мышление стало вытесняться личностным, возникли представления о личности как суверенном носителе морального выбора. Это привело к практически 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. [10]. 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. [10, 6]. 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 [10]. Распространение механизированного производства, начало глобализации в области информации (в 1831 году изобретен телеграф), и т. д.

18. *Информационная революция, начало постиндустриальной эпохи* – 1950 год [10]. 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, означающее завершение информационной глобализации. 19-я революция не является общепри-

нятой, но, как будет видно, по некоторым чисто формальным признакам имеет тот же статус, что и предыдущие.

1.3 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. Это означает, что последовательность переходов 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 есть продолжительность всего описываемого промежутка времени, n представляет собой номер фазового перехода, t^* является пределом последовательности фазовых переходов $\{t_n\}$. На существование предела последовательности фазовых переходов обратил внимание И. М. Дьяконов [10]. Он назвал эту точку сингулярностью истории, но ее можно также называть точкой сингулярности эволюции, так как она является пределом последовательности фазовых переходов всей биосферы, но 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 иллюстрируется 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 (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 расстояния от точки фазового перехода до сингулярности от номера точки в логарифмическом масштабе должна быть приблизительно прямой линией.

Результат такого анализа показан на рис. 2. Фазовый переход 1991 г. не был использован в обработке. Видно, что последовательность фазовых переходов биосферы неплохо укладывается на прямую линию. Можно сказать, что существует масштабно-инвариантный аттрактор эволюции (прямая линия на рис. 2). Реальная

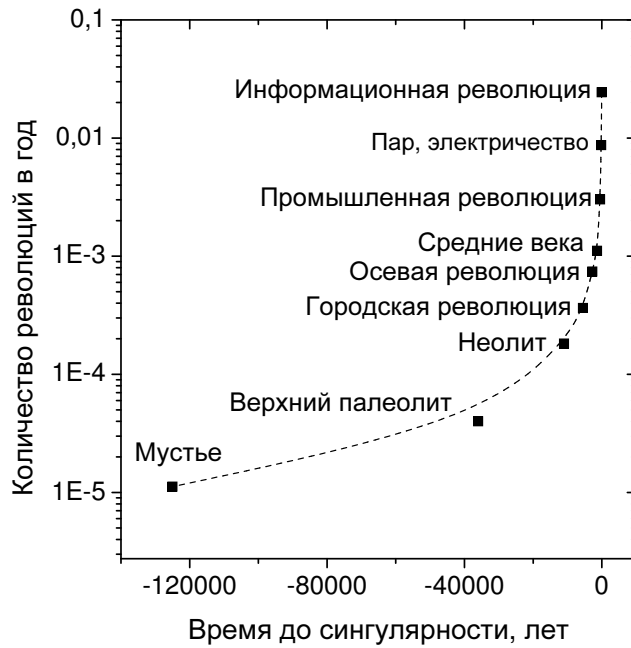


Рис. 1: Наглядное представление сингулярности эволюции и существования режима с обострением. Показаны точки, отвечающие лишь нескольким последним фазовым переходам. По оси ординат отложено количество фазовых переходов в год, аппроксимированное просто как обратный промежуток между фазовыми переходами.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

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 $t^* = 2004$ г., то можно заключить, что 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 «планетарные революции», существует множество более мелких событий, которые также означают вполне заметные изменения в планетарной системе. 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 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

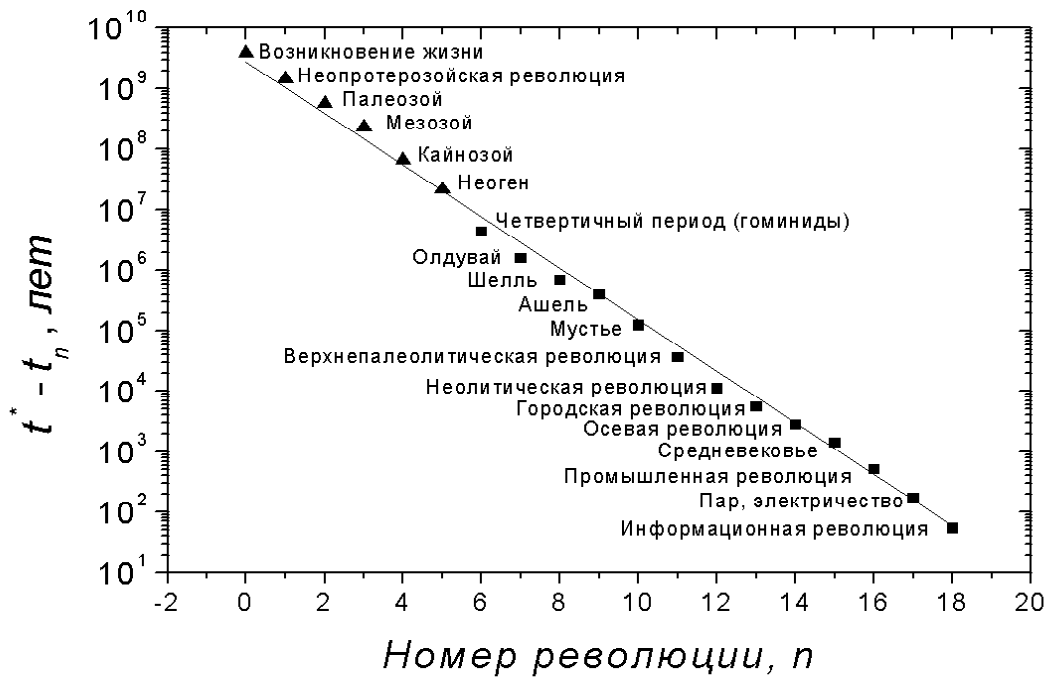


Рис. 2: Масштабная инвариантность распределения биосферных фазовых переходов во времени. Треугольники - чисто биосферные переходы, квадратики - переходы в социальной истории. Прямая линия - масштабно-инвариантный аттрактор эволюции на Земле.

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 [28]. Эту модель можно рассматривать как грубое отражение социальной истории человечества, где на первый план выводятся демографические факторы. Модель показывает, 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 масштабно-инвариантную последовательность, сходящуюся к точке сингулярности. После точки сингулярности система погибает или меняет режим эволюции. Следовательно, если выбрать правильное значение порога амплитуды колебаний и отбросить все более мелкие, то останется чистая масштабно-инвариантная последовательность демографических кризисов (к такому заключению приходят авторы статьи [28]). Это весьма напоминает то, что было получено в нашем анализе фазовых переходов планетарной

системы. Вид кривой распределения демографических кризисов по времени, приведенный в [28], поразительно напоминает кривую на рис. 2, включая даже степень нарушения точной масштабной инвариантности.

Отметим, что революция 1991 года почти идеально ложится на экстраполяцию масштабно-инвариантной зависимости: $1950 + (1950 - 1835)/2,67 \approx 1993$. Это поддерживает статус события как глобального перехода планетарной системы. Да и по сути оно таким является. 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 не имеет статуса научного результата. Ее надо рассматривать как предложение эвристического характера и материал для дальнейшего обсуждения и размышления.

1.4 Постсингулярный рукав эволюции

Вблизи точки сингулярности скорость эволюции формально должна была бы обратиться в бесконечность, что, видимо, реально невозможно⁴. 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. Что он может собой представлять — отдельный сложный вопрос, которого мы коснемся в разделе 5.

Одним из признаков того, что земная биосфера уже вступает в постсингулярный рукав эволюции, может быть удивительное явление демографического перехода [11]. 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-х миллиардов лет⁵.

Отметим еще одно любопытное явление, на которое редко обращают внимание. Оно связано с представлением об аддитивности эволюции (см. раздел 1.1). При возникновении более высоких эволюционных уровней старые уровни хоть и не элиминируются полностью, но всегда существенно подавляются. Распространившиеся после Неопротерозойской революции эвкариоты вытеснили прокариот из многих их старых экологических ниш и существенно снизили их многообразие, мезозойские пресмыкающиеся подавили фауну земноводных и т. д. Будь у первобытных эвкариот разум и

⁴По этому поводу существует иное мнение, связанное с представлением о технологической или информационной сингулярности, где сингулярность приобретает буквальный смысл. Но мы не будем здесь обсуждать этот круг представлений.

⁵Возможным контрпримером является спад населения в поздней Западной Римской империи. Однако, по сравнению с современным глобальным демографическим переходом, это явление имело явно более локальный характер и было как-то связано с кризисными явлениями, имевшими место в этом регионе накануне распада Римской 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 законен. Автор благодарит О. М. Тенякову за замечание.

совесть, можно представить, как бы они сокрушались по поводу уничтожения фауны несчастных прокариот. Но биосфера никогда раньше не обладала ни разумом, ни совестью, поэтому высшие эволюционные формы безжалостно уничтожали низшие до приемлемого для них уровня.

Деградация биосферы под давлением технологической цивилизации является вполне закономерным продолжением этого закона эволюции — как говорится, удивляться не приходится. Удивляться нужно другому. Мы сокрушаемся по поводу жестокости цивилизации по отношению к природе, однако не замечаем, что впервые вполне закономерный процесс подавления более низких эволюционных уровней более высокими идет при наличии отрицательной обратной связи, 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.

1.5 Универсальность шкалы времени эволюции и точки сингулярности

Масштабная инвариантность последовательности биосферных революций означает, что социально-биологическая эволюция на Земле, начиная с возникновения жизни и до наших дней, характеризуется удивительно устойчивым характером ее ускорения. И это несмотря на существенное изменение условий на Земле за это время и изменение структуры и свойств эволюционирующей системы. В частности, чисто биологическая эволюция сменяется социальной, не нарушая масштабную инвариантность процесса. Это наводит на мысль, что масштабно-инвариантный характер ускорения эволюции на Земле вместе с характерной временной шкалой этого процесса связан не со случайно сложившимися именно на Земле условиями (ведь характер ускорения не зависел от сильно изменяющихся условий), но, возможно, обязан 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 в конце масштабно-инвариантной эволюции вряд ли может означать что-то иное, кроме технологического взрыва, связанного с возникновением на планете разума.

Продолжительность заключительного участка масштабно-инвариантной эволюции, связанного с технологическим взрывом, ничтожна по космическим масштабам (десятки лет), поэтому и вероятность обнаружить другую цивилизацию в этом состо-

янии исчезающе мала. В рамках гипотезы существования универсальной масштабнo-инвариантной шкалы времени эволюции, реальный шанс обнаружить внеземную космотехнологическую цивилизацию существует только в том случае, если возможно длительное существование цивилизаций после преодоления точки сингулярности. С этой точки зрения задачу SETI можно сформулировать как задачу поиска пост-сингулярных космотехнологических цивилизаций. Соответственно, вопрос о том, что может собой представлять потенциальный партнер по SETI-контакту, можно переформулировать как вопрос о том, что может собой представлять постсингулярная цивилизация. При этом нужно понимать, что постсингулярная цивилизация оказывается объектом, принадлежащим иному рукаву эволюции, не тому масштабнo-инвариантному рукаву, в котором пребываем мы сейчас, или который мы завершаем.

1.6 Другие пути к сингулярности

Следует отметить, что 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 [3, стр. 79–82, 92–95, 401–405]. И. М. Дьяконов в 1994 году отмечал экспоненциальное ускорение социальной эволюции (без количественной оценки показателя ускорения) начиная с неолитической революции до наших дней и указывал, что из характера ускорения следует существование «сингулярности истории» где-то в недалеком будущем (также без количественной оценки) [10, стр 352–353]. С. П. Капица в 1996 году предложил величину $\alpha \approx e$ для фактора ускорения эволюции начиная с возникновения гоминид $(4 - 5) \times 10^6$ лет назад, до настоящего времени [11]. 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 об автомодельности эволюции либо истории, и к вытекающему из автомодельности существованию точки сингулярности приходят разные авторы исходя из совершенно разных соображений. Хорошо известны демографические исследования С. П. Капицы [11], предсказывающие точку обострения автомодельного закона роста народонаселения Земли в 2027 году. А. Е. Чучин-Русов предсказывает точку сингулярности (в его терминологии — точка схождения) в 2015 году на основе анализа масштабнo-инвариантной последовательности «культурно-экологических формаций» [29]. С. Н. Гринченко, рассматривая последовательность шагов формирования «механизмов системной памяти» приходит к масштабной инвариантности этой последовательности и к существованию точки сингулярности в 1981 году [30]. Этот список далеко не полон. Как нам представляется, именно наличие различных путей, приводящих к представлениям о масштабной инвариантности, автомодельности и сингулярности эволюции, а также близость предсказываемых дат для положения сингулярности, заставляет отнестись и этим результатам достаточно серьезно.

2 Шкала времени предбиологической эволюции и гипотеза самосогласованного галактического происхождения жизни

2.1 «Естественная» длительность предбиологической эволюции на изолированной планете

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 на основании эксперимента. Покажем, как можно получить независимую феноменологическую оценку масштаба времени предбиологической эволюции на основании продемонстрированного выше явления масштабной инвариантности эволюции биосферы.

Э. М. Галимов предложил теорию [8, Гл. 2–3], в которой предбиологическая химическая эволюция, возникновение жизни и последующая эволюция биосферы описываются как единый непрерывный процесс. Эта теория имеет дело с такими понятиями, как отбор, диспропорционирование энтропии, трансферабельность и эволюционный консерватизм в термодинамически неравновесных системах вблизи состояния равновесия, и эта парадигма используется одним и тем же способом как для периодов эволюции до возникновения жизни, так и после. Эта теория тщательно разработана и описывает многие детали возникновения жизни и дальнейшей эволюции биосферы, но она не дает возможности получить недвусмысленную количественную оценку ожидаемой продолжительности предбиологической эволюции. Собственное мнение Э. М. Галимова состоит в том, что предбиологическая эволюция может быть коротка в геологической шкале времени (немногие миллионы лет) [8, С. 129].

Но возможна иная логика. Мы видели (см. раздел 1), что чем выше организация биосферы, тем выше скорость эволюции. Так как (а) любая предбиологическая система должна считаться организованной ниже, чем биологическая и (б) предбиологическая и биологическая эволюция могут рассматриваться как единый процесс [8], то можно предположить, что скорость предбиологической эволюции должна быть ниже, чем скорость последующей эволюции биосферы. Более того, поскольку предбиологическая и биологическая эволюция есть в определенном смысле единый процесс, можно предположить, что предбиологическая эволюция принадлежит тому же масштабно-инвариантному аттрактору, что и эволюция биосферы. Поэтому можно оценить длительность предбиологической эволюции путем экстраполяции масштабно-инвариантного аттрактора вспять по времени. Разумеется, это есть простая индукция, такие рассуждения не могут иметь силы доказательства, поэтому следует рассматривать такую оценку как гипотезу.

Используя оценку α как в формуле (2) и продолжительность первого шага биологической эволюции $3,8 \cdot 10^9 - 1,5 \cdot 10^9 = 2,3 \cdot 10^9$ лет (это время от возникновения жизни до Неопротерозойской революции), можно получить оценку продолжительности предбиологической химической эволюции $\tau_{chem} = 2,3 \cdot 10^9 \times 2,67 = 6,1 \cdot 10^9$ лет. Более строгая техника состоит в прямой экстраполяции оптимального масштабно-инвариантного аттрактора. Этот метод дает значение $\tau_{chem} = 5,5 \cdot 10^9$ лет. Можно

заклЮчить, что экстраполированное значение продолжительности предбиологической эволюции есть $\tau_{chem} = (5 - 7) \cdot 10^9$ лет. Более точно, по построению это есть оценка длительности только последней фазы предбиологической эволюции, но не всей эволюции, поэтому полученная величина должна рассматриваться как оценка полной ожидаемой длительности предбиологической эволюции снизу. Но не будем пока расчленять предбиологическую эволюцию на фазы.

2.2 Гипотеза биологической и предбиологической панспермии

Значение $\tau_{chem} \approx 6 \cdot 10^9$ лет очень велико. В то же время есть свидетельства, что продолжительность предбиологической химической эволюции на Земле была очень мала: менее $0.2 \cdot 10^9$ лет [1] (от 4,1 до 3,9 миллиардов лет назад). Действительная продолжительность предбиологической эволюции на Земле не только неожиданно коротка. Можно сделать более сильное утверждение: краткость предбиологической эволюции находится в противоречии с последующим масштабно-инвариантным характером биологической эволюции. Это выглядит как резкая аномалия, если изобразить начальные фазовые переходы эволюции биосферы вместе с предполагаемым моментом начала предбиологической эволюции на Земле («кляшкa» на рис. 3). Налицо явное противоречие, которое может разрешаться следующим образом. Продолжительность предбиологической химической эволюции фактически могла быть масштаба 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 [31]. Идея панспермии поддерживается открытием метеоритов, выбитых с поверхности других планет и возможным обнаружением в них органических остатков [32].

Заметим, что панспермия могла бы также объяснить неожиданно быстрое возникновение механизма фотосинтеза (см. раздел 1.2, 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.

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 биологической эволюции. Следовательно экстраполяция масштабной инвариантной зависимости в прошлое оказывается незаконной.

Таким образом, получается, что 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 превосходить максимальную сложность объектов, которые могут переноситься

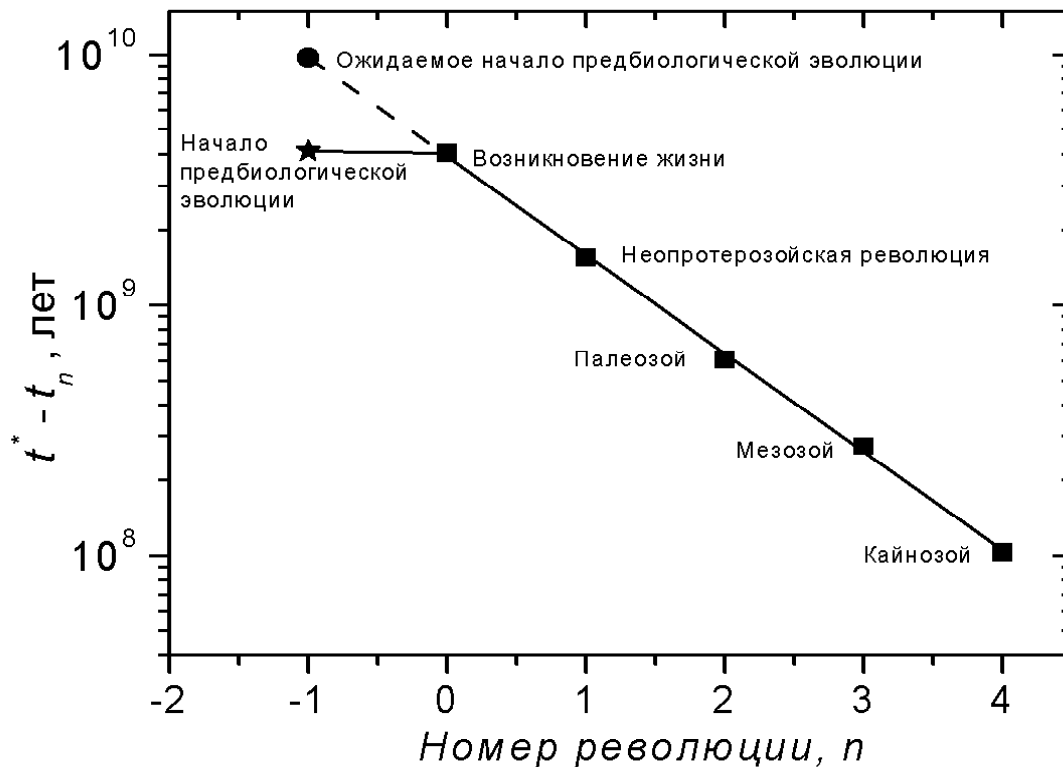


Рис. 3: Чрезвычайная краткость предбиологической химической эволюции на Земле приводит к аномалии «клюшки» в общей масштабнo-инвариантной эволюции биосферы.

путем панспермии, и 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 появления жизни, как результат уже естественной земной эволюции.

Как отмечалось выше, очень краткий добиологический период существования Земли может в действительности означать возможность процесса межзвездной панспермии жизни и длительную предбиологическую эволюцию на других планетах земного типа, но не на Земле. Но если предполагается возможность биологической панспермии, то должна предполагаться также и возможность предбиологической панспермии, так как продукты предбиологической химической эволюции должны быть менее чувствительны к трудностям космического путешествия (жесткое излучение, холод и вакуум), чем любые биологические системы. Вопрос состоит в том, каков характерный масштаб времени разноса инфекции по Галактике.

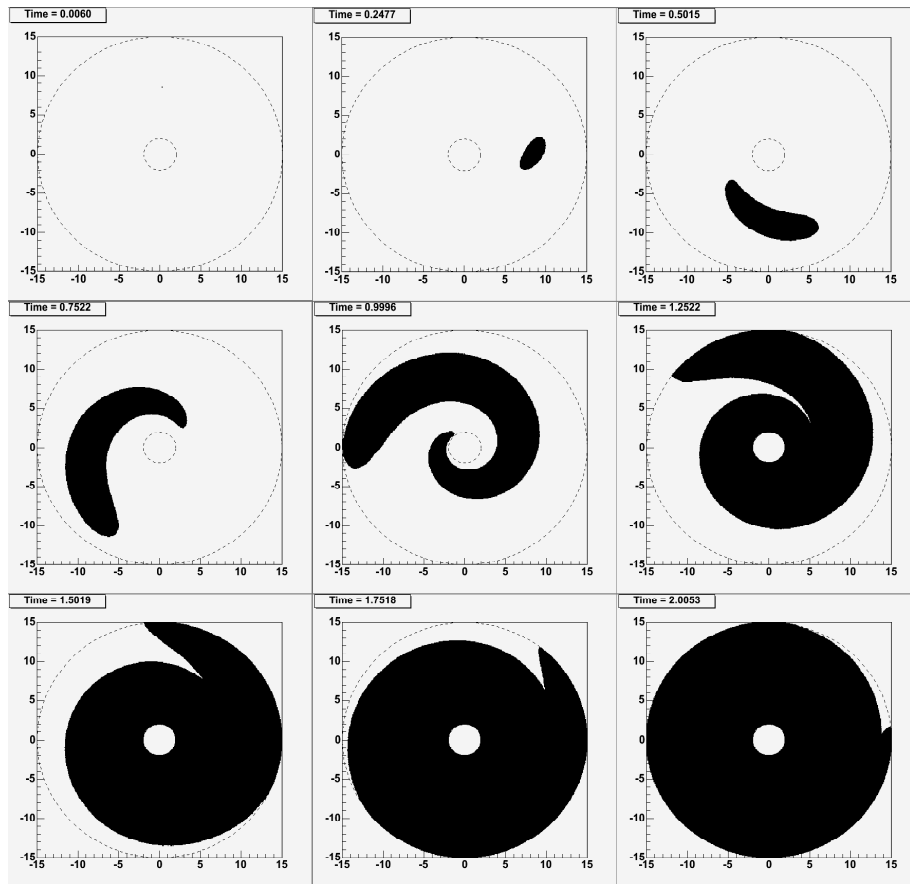


Рис. 4: Численная модель распространения волны панспермии в Галактике. Время на рисунках указано в галактических годах, расстояние по осям координат в килопарсеках. Считается, что область галактического ядра непригодна для предбиологической эволюции, расчет проведен для звезды - источника инфекции, находящейся на таком же расстоянии от центра Галактики, как Солнце.

2.3 Масштаб времени панспермии

Можно ожидать, что благодаря дифференциальному характеру вращения галактического диска временная шкала галактической панспермии будет составлять величину масштаба одного-двух галактических лет (галактический год — период обращения Солнца вокруг центра Галактики — составляет 216 млн. лет). Это означает, что если на какой-нибудь планете случайно возникнет устойчивая и конкурентоспособная предбиологическая система, то, будучи имитированной с этой планеты в космос вместе с осколками породы при метеоритных ударах, она распространится по Галактике за 200–400 млн. лет. То же самое произойдет, когда жизнь в Галактике возникнет первый раз.

Прежде чем перейти к более аккуратным численным оценкам масштаба времени панспермии, надо уточнить некоторые детали механизма панспермии. Прежде все-

го, будем исходить из предположения, что на стадии предбиологической химической эволюции работает некоторый аналог механизма отбора и конкуренции, напоминающий механизм естественного отбора обычной биологической эволюции. Трудно представить, как химическая эволюция могла бы привести к появлению достаточно сложных предбиологических объектов в отсутствие такого механизма. Это означает, что если в некоторой эволюционирующей системе (например, на поверхности планеты) появляется продукт предбиологической эволюции, характеризующийся высокой конкурентоспособностью, то он способен вытеснить из этой системы менее совершенные продукты химической эволюции и стать новой основой процессов самоорганизации.

Предположим теперь, что речь идет о распространении некоторого предбиологического (или биологического) продукта, характеризующегося высокой адаптивной и конкурентной способностью. Такой продукт, попав на планету, пригодную для его адаптации, должен за немногие тысячи лет, а может быть, и быстрее, инфицировать поверхность планеты, вытесняя менее совершенные системы, после чего планета сама становится источником панспермии этого продвинутого продукта. Основным источником инфицирования космоса, по предположению, является порода, выбиваемая время от времени с поверхности планеты, на которой протекает предбиологическая (или биологическая) эволюция, сильными метеоритными ударами. Так как планета вместе со своей звездой движется с характерной пекулярной скоростью около 30 км/сек относительно других звезд, то именно это и будет характерной скоростью переноса продуктов панспермии. Основным механизмом переноса жизни или предбиологических продуктов на большие расстояния оказывается не перенос на осколках породы в космическом пространстве, а перенос вместе со звездой — источником панспермии. Используем аналогию. Преджизнь (или жизнь) путешествует на звезде как блоха на собаке. Если собака с блохами пробегает мимо другой собаки, то некоторые блохи могут успеть перепрыгнуть на встретившуюся собаку, и она будет заражена. Если звезда-носительница инфекции пролетит не слишком далеко (порядка парсека) от другой звезды, то эта последняя может быть заражена уже непосредственно через космос. Продолжая аналогию, можно отметить, что если мы имеем местность, населенную беспорядочно бегающими собаками, то скорость распространения блох в такой ситуации будет определяться не скоростью передвижения блох, а скоростью передвижения собак (будем предполагать, что инкубационный период, после которого собака сама становится источником блох, очень мал). И распространение инфекции будет иметь не характер диффузии, а характер волны, распространяющейся с постоянной скоростью. Аналогично, скорость переноса зараженного вещества между звездами не играет решающей роли и может быть как существенно меньше, так и больше пекулярной скорости звезд. При расчете процесса панспермии можно предполагать, что каждая точка, которой уже достигла волна панспермии, сама становится источником новой сферически-симметричной волны панспермии, распространяющейся со скоростью около 30 км/сек. То есть, мы получаем автоволновой процесс (а не процесс диффузии, как можно подумать вначале), 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. 4 показаны результаты численного моделирования распространения волны панспермии в Галактике, выполненные в описанных выше предположениях. Из рис. 4 видно, что за два галактических года процесс практически завершен, а 70% объема Галактики заселяются примерно за 300 млн. лет. Хорошо видно определяющее значение дифференциального вращения галактического диска в процессе распространения волны.

2.4 Механизм самосогласования и ускорения предбиологической эволюции на уровне Галактики

Мы имеем две временные шкалы: одна медленная, масштаба $\tau_{chem} \approx 6 \cdot 10^9$ лет (или больше), это шкала естественной продолжительности предбиологической химической эволюции на изолированной планете; другая быстрая, масштаба $\tau_{pan} \approx 0,3 \cdot 10^9$ лет — шкала времени процесса галактической панспермии. Из существования двух сильно различающихся шкал времени следует, что предбиологическая химическая эволюция на отдельных планетах не могла протекать независимо от других планет.

Действительно, предположим, некоторая хорошая (в определенном смысле) предбиологическая система (например, стабильная и конкурентоспособная автокаталитическая цепочка) появляется на некоторой планете на стадии предбиологической эволюции Галактики (т. е. до того, как жизнь в Галактике появилась первый раз). Это вполне случайное событие. Тогда в течение короткого времени порядка τ_{pan} эта предбиологическая система, благодаря естественному отбору вытесняя по дороге менее эффективные местные предбиологические системы, распространится по всему объему Галактики, и продвинет эволюцию вперед на новой молекулярной основе. 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. Это повлечет появление жизни почти одновременно на всех планетах, которые имеют подходящие условия для существования жизни, при этом на одной молекулярно основе (в смысле основы генетического кода и т. д.) и с одной хиральностью. Это событие напоминает неравновесный фазовый переход Галактики. 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 — это есть формулировка гипотезы самосогласованного галактического происхождения жизни.

Если механизм самосогласованного галактического происхождения жизни работал, то в Галактике в прошлом должна была иметь место гигантская вспышка возникновения планет, заселенных жизнью — вскоре после того, как где-то жизнь возникла первый раз. Биологическая эволюция должна была начаться почти синхронно на огромном числе планет (порядка миллиарда или больше). 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 гипотеза самосогласованного возникновения жизни почти точно соответствует гипотезе известного радиопизика и астронома В. С. Троицкого об

одновременном возникновении жизни в Галактике [33], 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 [33], представление об одновременном появлении жизни во многих местах Галактики существенно влияет и на оценки распространенности КЦ. Этот вопрос, в частности, будет подробно обсуждаться в разделах 3 и 4.

Заметим, что если жизнь может существовать на планетах с условиями, резко отличными от земных, то и жизнь в Галактике может существовать в виде набора фаз, соответствующих классификации условий на планетах — без какой-либо конкуренции между разными фазами. Процесс самосогласования предбиологической эволюции внутри каждой фазы будет протекать независимо. Но на настоящей стадии изучения проблемы это замечание может рассматриваться как несущественное уточнение гипотезы. Существование общей молекулярной основы жизни в Галактике и общей хиральности является критическим тестом гипотезы самосогласованного галактического происхождения жизни.

Еще одна интересная точка зрения на процесс галактического самосогласования предбиологической эволюции была высказана Г. А. Скоробогатовым⁶. Распространенным мнением является то, что вероятность самозарождения жизни на любой отдельно взятой планете исчезающе мала. Например, для возникновения жизни на изолированной планете земного типа с подходящими условиями может оказаться необходимым в среднем миллиард миллиардов лет или какая-то столь же несуразно большая цифра. Если бы предбиологическая эволюция протекала на разных планетах независимо, в настоящее время жизнь во Вселенной не существовала бы вовсе, 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 одновременно протекает предбиологическая эволюция, практически немедленно становится достоянием и остальных планет. Это эквивалентно тому, что 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). Поэтому, даже если самопроизвольное зарождение жизни может оказаться совершенно невероятным в условиях изолированной планеты, оно может оказаться вполне возможным благодаря предбиологической панспермии. Заметим, что предположение о крайне длинной «естественной» шкале времени предбиологической эволюции не лишено оснований и в рамках той феноменологической методики, которая использовалась в настоящей статье. Вспомним, что полученная оценка в 6 млрд. лет является оценкой длительности лишь последней фазы предбиологической эволюции, и оценкой снизу полной длительности. Если предположить, что предбиологическая эволюция является многофазовой, как и последующая эволюция биосферы, и масштабная инвариантность по-прежнему имеет место, то для двадцати фазовых переходов (как и в эволюции биосферы) получим оценку $6 \times (2,67)^{19} \sim 0,8 \cdot 10^9$ млрд. лет - почти миллиард миллиардов лет! Здесь, конечно, важны не точные цифры, а масштабы величин.

⁶Г. А. Скоробогатов. Частное сообщение, 2004.

В заключение заметим, что описанный выше механизм самосогласования предбиологической эволюции может быть только частью реально действующего механизма. Хорошо известно [34, С. 226], что синтез сложных органических соединений может происходить не только на поверхности планет, но и в космосе, в молекулярно-пылевых облаках. Не вызывает сомнений, что химические процессы в водном растворе при нормальной температуре протекают гораздо быстрее, чем в условиях космоса, но и масса эволюционирующего вещества (H, C, N, O), заключенная в молекулярных облаках, по-видимому на порядки величин превосходит массу органического вещества на поверхности всех планет Галактики, вместе взятых. В случае планет имеются как бы единичные быстрые химические процессоры, а в космосе имеется 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. В гигантском космическом резервуаре Галактики за счет очень широкого фронта эволюции могут появляться какие-то важные или уникальные соединения, которые просто не успевают «свариться» на планетах. Звездным ветром или кометами эти молекулы разносятся по всей Галактике, поэтому предбиологическая эволюция в молекулярных облаках автоматически будет самосогласованной. Продукты космической предбиологической эволюции высеваются на поверхность планет, где они включаются в местную предбиологическую эволюцию. Иногда сочетание пришельцев с местной химией оказывается особенно удачным, и эволюция делает шаг вперед. Продукты этой эволюции выбиваются с поверхности удачливой планеты в космос крупными метеоритами, и описанный выше механизм предбиологической панспермии разносит его по всей Галактике, ведя к согласованному продвижению эволюции вперед. И так до тех пор, пока Галактика как единое целое не совершит переход в эру жизни. Таким образом, механизм галактического самосогласования может иметь двойную, планетарно-космическую, природу.

3 Динамические обобщения формулы Дрейка: линейная теория.

В двух следующих разделах статьи (разделы 3 и 4) идеи, касающиеся существования универсальной шкалы времени эволюции и самосогласованного галактического происхождения жизни будут использованы для оценки числа коммуникативных космических цивилизаций в Галактике — потенциальных партнеров по SETI-контакту⁷. При этом упомянутые идеи будут использованы в рамках нового формализма описания динамики популяции цивилизаций в Галактике, который является развитием существовавших ранее подходов. Этот новый формализм полезен и сам по себе, поэтому материал этих двух разделов может представлять интерес и независимо от

⁷SETI означает Search of Extraterrestrial Intelligence, поэтому, строго говоря, использование такой аббревиатуры для уже установленного контакта не совсем корректно. Однако термином SETI нередко обозначают все, относящееся к проблеме связи с внеземными цивилизациями, и мы будем следовать этому соглашению.

гипотез универсальной шкалы времени эволюции и самосогласованного происхождения жизни.

3.1 Формула Дрейка и теория Крейфелдта-Гиндилиса

Под *коммуникативными цивилизациями* (КЦ) будем понимать такие цивилизации нашей Галактики, от которых по каналам связи или любым другим способом (например, путем наблюдения астроинженерной деятельности) может быть получена информация, интерпретируемая как осмысленная и разумная в нашем современном понимании. Предполагается также, что такие цивилизации в принципе могут принять и интерпретировать информацию, посылаемую с Земли. Считается, что *коммуникативная фаза* в развитии любой цивилизации имеет лишь конечную длительность. Эту величину часто называют временем жизни технической цивилизации и традиционно обозначают буквой L [35, С.12]. Предполагается, что КЦ локализуются на планетах около звезд, и что в истории каждой планеты коммуникативная фаза может возникнуть только один раз. Последнее предположение является очень сильным. Обычно считается, что задачей SETI является поиск именно таких коммуникативных цивилизаций.

Будем исходить из такой постановки задачи, хотя нужно отметить, что в ней имеется ряд неявных допущений и ограничений. Например, завершение коммуникативной (в нашем понимании) фазы может означать вовсе не гибель цивилизации, но лишь переход ее в некоторое новое качество (см. также [34, С.405]) и т. д. С точки зрения развиваемого ниже формализма существенно только то, что время жизни цивилизаций в коммуникативной фазе конечно, а в нелинейной теории важно также, что в этот период цивилизации могут оказывать некоторое влияние друг на друга.

Важнейшим вопросом для проблемы SETI является то, как далеко от нас находится ближайшая КЦ. Ответ на этот вопрос зависит от числа КЦ в настоящее время в Галактике. На рис. 5 для справок показано, как зависит ожидаемое расстояние от Солнца до ближайшей КЦ от количества КЦ в Галактике. Расчет произведен методом Монте-Карло с использованием реалистичной модели распределения звезд в Галактике [36, С.405] и с учетом реального положения Солнца (8.5 кпк от центра Галактики, вблизи плоскости симметрии галактического диска).

Рассмотрим вопрос о числе КЦ. Наиболее известным способом ответа на него является использование формулы, предложенной Ф. Д. Дрейком, которая в интерпретации К. Сагана записывается так [35, С.12]:

$$N_C = R_* f_p n_e f_l f_i f_c L, \quad (3)$$

где R_* — скорость образования звезд в Галактике, усредненная по всему времени ее существования, f_p — доля звезд, обладающих планетными системами, n_e — среднее число планет, входящих в планетные системы и пригодных для жизни, f_l — доля планет, на которых действительно возникла жизнь, f_i — доля планет, на которых после возникновения жизни развились ее разумные формы, f_c — доля планет, на которых разумная жизнь достигла коммуникативной фазы, L — средняя продолжительность существования коммуникативной фазы.

Формула Дрейка решает проблему числа КЦ только в довольно грубом прибли-

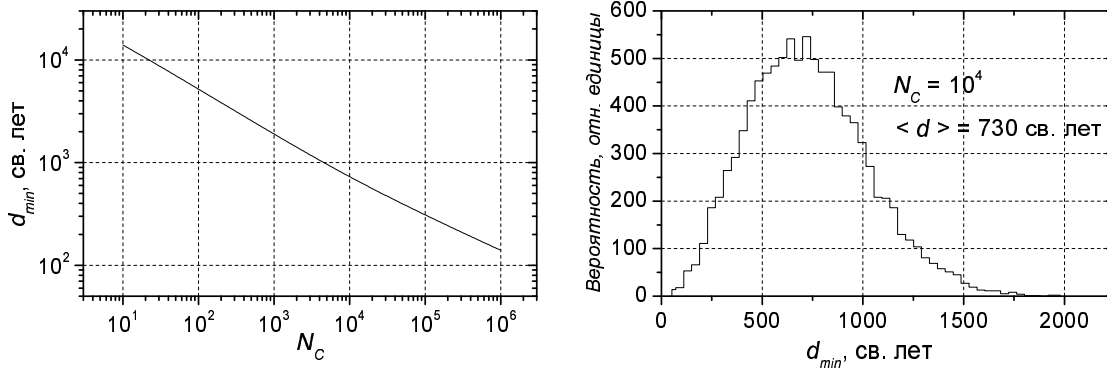


Рис. 5: Ожидаемое расстояние до ближайшей КЦ в зависимости от количества КЦ в Галактике и распределение вероятностей расстояний до ближайшей КЦ для случая $N_C = 10000$. Профиль функции распределения для других значений N_C аналогичен, отличается лишь наиболее вероятное значение расстояния.

жении. Прежде всего, в соответствии с формулой (3), N_C не зависит от времени⁸. Между тем очевидно, что когда-то КЦ в Галактике не было совсем, затем был переходный период, когда их количество каким-то образом росло. Может существовать динамика количества КЦ, связанная с непостоянством скорости звездообразования, особенностями процесса возникновения жизни и другими факторами. Фактически формула Дрейка описывает лишь существенно стационарную ситуацию, что может оказаться очень далеко от истины. Реальное количество КЦ может сильно зависеть от того, на какую фазу динамических процессов в популяции КЦ приходится текущий момент времени. Оценка числа КЦ зависит от понимания природы этих процессов.

Большие проблемы возникают с интерпретацией некоторых множителей в формуле Дрейка. Например, что такое доля планет, на которых возникла жизнь (фактор f_l)? Если имеется в виду вероятность возникновения жизни на планете с подходящими условиями, то это число само по себе мало что дает для анализа. Например, если бы такая вероятность была равна единице, но необходимое время для зарождения жизни составляло бы несколько десятков миллиардов лет, то никакой жизни в Галактике сейчас бы не было, так как возраст галактического диска составляет всего 10–12 млрд. лет. Ясно, что реальный смысл имеет только совместное использование вероятностей вместе с соответствующими временами развития, но формула Дрейка этого не отражает. Одним из первых, кто отметил, что в вопросе о числе цивилизаций нельзя пользоваться просто вероятностями, так как речь идет о процессах, разворачивающихся во времени, был Ф. А. Цицин [37]. Если же f_l есть не вероятность, а именно доля всех реально существующих планет, пригодных для жизни, на которых жизнь действительно возникла, то эта величина сложным образом связа-

⁸Есть неявная зависимость через величину R_* , но она вообще является неверной, если под R_* буквально понимать среднюю скорость звездообразования от момента образования Галактики до описываемого времени. Формула была бы верной, если под R_* понималась бы мгновенная скорость звездообразования, но при этом все времена развития должны быть много меньше характерных времен изменения R_* , что в нашей Галактике заведомо не выполняется.

на с динамикой возникновения планет и другими факторами и очень неудобна для оценок, так как не имеет фундаментального характера.

Необходимо такое динамическое обобщение формулы Дрейка, которое учитывало бы времена развития, непостоянство скорости звездообразования, конечное время жизни звезд. Такое динамическое обобщение было дано Дж. Крейфелдтом [38] и развито Л. М. Гиндилисом [39]. Основную формулу для числа КЦ в Галактике в теории Крейфелдта-Гиндилиса можно привести к виду

$$N_C(T) = \int_0^T d\tau \tilde{R}(T - \tau) \int_0^\infty d\omega [C(\tau) - C(\tau - \omega)] P_L(\omega), \quad (4)$$

где T — время, отсчитываемое от начала формирования Галактики; $\tilde{R}(t)$ — скорость возникновения подходящих звезд в момент t , $0 < t < T$; $C(\tau)$ — вероятность возникновения коммуникативной фазы ранее времени τ , считая от возникновения звезды; $P_L(\omega)$ — плотность распределения КЦ по временам жизни. В теории Крейфелдта и в теории Гиндилиса формулу можно записать в одном и том же виде, но интерпретации некоторых множителей в теории Гиндилиса более проработаны. Например, в функцию $\tilde{R}(T - \tau)$ в теории Гиндилиса включен фактор конечности времени жизни звезд, а в теории Крейфелдта — нет, и др. То, что было сделано, можно назвать линейной теорией, так как количество цивилизаций оказывается линейным откликом на скорость звездообразования и линейно зависит от других модельных функций.

Настоящая работа развивает эту проблематику. В данном разделе воспроизведена (и немного обобщена) линейная теория Крейфелдта-Гиндилиса, но основные формулы этой теории получены новым способом и в несколько иной форме. В то время как раньше они получались из общих теоретико-вероятностных соображений сразу практически в готовом виде, здесь они получены как решение системы динамических уравнений. Хотя новый подход дает мало нового собственно для линейной теории, он допускает далеко идущие обобщения для описания нелинейных явлений, и тем очень полезен. Создан пакет программ, позволяющий в рамках линейной теории получать численные решения для *любых* модельных функций, входящих в теорию, в то время как раньше исследовались только очень примитивные модели, в которых было легко до конца провести аналитический расчет [39]. Некоторые результаты расчетов с реалистичными исходными данными (скорость звездообразования и др.) приводятся в статье. В рамках этой же модели исследованы возможные следствия гипотезы галактического самосогласованного происхождения жизни (см. раздел 2). В следующем разделе статьи (раздел 3) на основе линейной теории в ее новой формулировке построена динамическая нелинейная теория, которая обобщает линейную теорию и учитывает возможное взаимовлияние КЦ друг на друга. В рамках этой теории получены некоторые интересные численные решения уравнений, которые также обсуждаются в разделе 3.

3.2 Модельные функции и определяемые величины

Так как цивилизации связаны со звездами, то, очевидно, динамику популяции цивилизаций порождает динамика популяции звезд. Следовательно начать надо с описания динамики популяции звезд. Под популяцией звезд Галактики будем понимать популяцию звезд галактического диска, так как подавляющее большинство

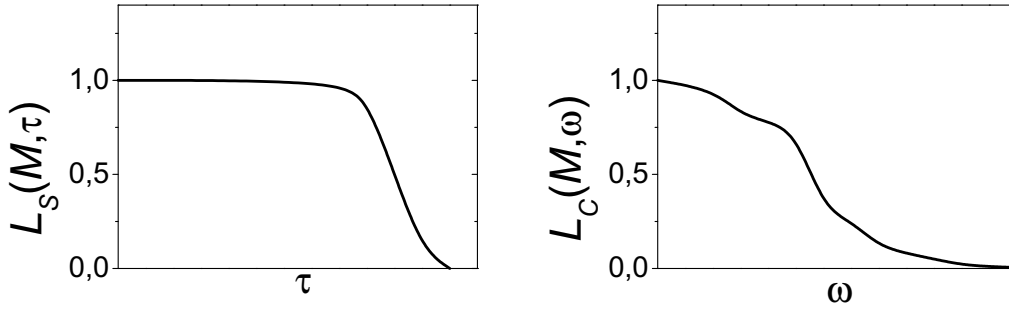


Рис. 6: Левый график: схематичное изображение вероятности выживания звезд $L_S(M, \tau)$; правый график: вероятность выживания коммуникативной фазы $L_C(M, \omega)$.

планет земного типа должно быть сосредоточено именно в диске. Звезды гало содержат очень мало тяжелых элементов и существование планет земного типа там маловероятно. Основными характеристиками звезд являются масса и начальный химический состав. Известно, что звезды диска имеют похожий химический состав [40, стр. 150–152], поэтому основные характеристики большинства звезд диска определяются их массами. Поэтому скорость рождения звезд будем характеризовать функцией $R(M, T)$, показывающей, с какой частотой рождаются звезды массой M в момент времени T . Время T отсчитывается от начала образования галактического диска. Функция $R(M, T)$ нормирована таким образом, что интеграл

$$\int R(M, T) dM = R_*(T) \quad (5)$$

есть полная скорость звездообразования. Продолжительность жизни звезд дается вероятностью выживания $L_S(M, \tau)$, представляющей собой вероятность того, что звезда массы M еще не сошла с главной последовательности в момент времени τ , отсчитываемый от момента ее рождения. Фактически вид этой функции для фиксированной массы M близок к обратной ступеньке единичной высоты вблизи времени жизни звезды, так как все звезды одной массы живут примерно одно и то же время (см. рис. 6), но для теории это не является существенным. Функции $R(M, T)$ и $L_S(M, \tau)$ однозначно задают динамику популяции звезд.

Далее следует задать модельные функции, определяющие динамику популяции КЦ. В принципе, следует отдельно охарактеризовать времена развития и вероятности наличия подходящих условий для каждого из переходов: возникновение жизни, возникновение цивилизации, переход цивилизации в коммуникативную стадию. Можно пойти еще дальше, и задать вероятности переходов и времена развития отдельно для каждой из фаз развития биосферы (см. раздел 1). Однако в теорию соответствующие распределения вероятностей нигде не входят по отдельности. Проще охарактеризовать сразу весь процесс развития для возникновения коммуникативной фазы цивилизации начиная с момента образования звезды, не деля его на отдельные (в общем, не очень надежно установленные и отчасти произвольные) фазы. Это можно сделать с помощью единственной функции $B(M, \tau)$, дающей плотность

вероятности возникновения КЦ спустя время τ после возникновения звезды для выбранной наугад звезды массой M . Функция $B(M, \tau)$ нормируется таким образом, что

$$\int B(M, \tau) d\tau = \alpha(M) \quad (6)$$

есть вероятность того, что у звезды массой M имеются условия, подходящие для возникновения КЦ⁹. Это значит, что в предположении, что время жизни звезды очень велико, КЦ возникнет хотя бы когда-нибудь с вероятностью $\alpha(M)$. Когда она может возникнуть, определяется деталями поведения функции $B(M, \tau)$ в зависимости от времени. Важно, что в вероятности $\alpha(M)$ не учтен фактор конечного времени жизни звезды. Обрыв эволюции из-за гибели звезды автоматически учитывается введенной выше функцией выживания звезды $L_S(M, \tau)$. Важно, что различные физические факторы, отвечающие за динамику популяции цивилизаций, связываются с разными распределениями вероятности. Это упрощает оценку этих факторов. Заметим, что пока предполагается, что функция $B(M, \tau)$ не зависит явно от галактического времени, то есть условия эволюции на планетах остаются постоянными. В этом мы пока следуем традиционному подходу. Но это условие может быть неверным, и ниже будет рассмотрен случай, когда оно нарушается. Вероятность наличия подходящих условий считается, вообще говоря, зависящей от типа звезды. Это и естественно, так как, например, легкие звезды обладают значительно более узкой «зоной жизни», чем более тяжелые, что может уменьшать величину α , многие звезды спектрального класса K проявляют вспышечную активность, также ведущую к уменьшению α и т. д.

Нетрудно показать, что функция $B(M, \tau)$ равна свертке по времени аналогичных функций, характеризующих отдельные фазы эволюции. Чисто технически, если все эти функции заданы по отдельности, то полную функцию $B(M, \tau)$ легко найти, вычислив соответствующую свертку.

Длительность коммуникативной фазы развития КЦ, задается функцией $L_C(M, \omega)$, которая дает вероятность выживания коммуникативной фазы спустя время ω после ее возникновения (см. рис. 6). Это есть достаточно произвольная функция, монотонно падающая от единицы до нуля при $\omega \rightarrow \infty$. Время ω будем называть просто возрастом цивилизации. Как видно, здесь тоже допускается зависимость от массы звезды, но нет явной зависимости от галактического времени или от других параметров.

Состояние популяции звезд надо описывать таким образом, чтобы зная его в некоторый момент времени, можно было однозначно предсказать состояние популяции в будущем. Для этого, очевидно, мало знать сколько имеется звезд каждого типа, нужно еще знать возраст каждой звезды, для того, чтобы иметь возможность предсказать ее судьбу с учетом конечности времени ее жизни. Нетрудно понять, что этим требованиям удовлетворяет описание популяции звезд функцией $n_S(M, \tau, T)$, задающей плотность распределения звезд по их массам M и возрастам τ в зависимости от галактического времени T . Функция нормируется таким образом, что

⁹Строго говоря, это есть среднее число планет с подходящими условиями на звезду. Теоретически эта величина может быть больше 1 и не должна интерпретироваться как вероятность. Фактически эта величина заведомо меньше 1, поэтому ее можно отождествить с вероятностью, что дальше всюду будет делаться.

интеграл по всем массам и всем возрастам дает полное количество звезд в момент T :

$$N_S(T) = \int_0^\infty dM \int_0^T d\tau n_S(M, \tau, T). \quad (7)$$

Аналогично, для того, чтобы предсказать судьбу каждой цивилизации, про нее нужно знать, каков возраст цивилизации считая от начала коммуникативной фазы, а также каков был возраст звезды, когда эта цивилизация возникла, и какова продолжительность жизни соответствующей звезды, так как коммуникативная фаза может прекратиться по двум причинам: либо в результате ее естественного конца, либо в результате гибели звезды. Нетрудно понять, что полное статистическое описание популяции цивилизаций дается функцией $n_C(M, \tau, \omega, T)$, дающей количество коммуникативных цивилизаций около звезд с массой M , появившихся в возрасте τ звезды и имеющих собственный возраст ω в момент галактического времени T . Функция нормируется таким образом, что интеграл по всем массам звезд, по всем моментам рождения и по всем возрастам цивилизаций дает полное количество цивилизаций в момент T :

$$N_C(T) = \int_0^\infty dM \int_0^T d\tau \int_0^{T-\tau} d\omega n_C(M, \tau, \omega, T). \quad (8)$$

Распределения $n_S(M, \tau, T)$ и $n_C(M, \tau, \omega, T)$ полностью характеризуют задачу. Если распределение $n_C(M, \tau, \omega, T)$ известно, то используя соотношение (8) можно найти $N_C(T)$ — количество КЦ в зависимости от времени. Можно найти и другие полезные величины: распределение цивилизаций по типам звезд, по возрастам, средний возраст и т. д., выписав соответствующие интегралы. Задача состоит в том, чтобы написать систему кинетических уравнений, которым подчиняются распределения $n_S(M, \tau, T)$ и $n_C(M, \tau, \omega, T)$ и решить ее.

3.3 Кинетические уравнения популяции звезд и популяции цивилизаций

Рассмотрим сначала две более простые задачи.

1. Пусть в начальный момент времени создано N_0 некоторых объектов, вероятность выживания которых задана функцией $P(T)$. Тогда ожидаемое количество этих объектов в зависимости от времени меняется по закону

$$N(T) = N_0 P(T). \quad (9)$$

Продифференцировав обе части равенства в уравнении (9) нетрудно найти, что $N(T)$ удовлетворяет уравнению

$$\frac{dN(T)}{dT} = N(T) \frac{d \ln P(T)}{dT} = -\Lambda(T) N(T). \quad (10)$$

Это уравнение является обобщением уравнения радиоактивного распада на случай неэкспоненциального закона выживания $P(T)$. Если $P(T) = \exp(-\lambda T)$ то получим обычное уравнение распада $dN/dT = -\lambda N$.

2. Пусть имеются некоторые объекты, которые характеризуются возрастом и пусть в начальный момент времени имелось распределение этих объектов по возрастам $n(\tau, T)|_{T=0} = n_0(\tau)$. Полное число объектов есть

$$N_0 = \int_0^\infty n_0(\tau) d\tau.$$

Предположим, что с объектами ничего не происходит, но объекты, естественно, стареют. Это приведет к тому, что распределение $n(\tau, T)$ будет изменяться, причем таким образом, что начальное распределение просто равномерно двигается вправо:

$$n(\tau, T) = n_0(\tau - T). \quad (11)$$

Нетрудно убедиться, что функция $n(\tau, T)$ удовлетворяет уравнению

$$\frac{\partial n(\tau, T)}{\partial T} = -\frac{\partial n(\tau, T)}{\partial \tau}. \quad (12)$$

Рассмотрим теперь популяцию звезд. Здесь одновременно работают оба процесса, рассмотренных выше, причем для звезд с различными массами эволюция протекает раздельно. Отсюда, имея в виду уравнения (10) и (12), сразу легко записать уравнение для функции $n_S(M, \tau, T)$. Введя обозначение для логарифмической производной

$$-\Lambda_S(M, \tau) \equiv \frac{\partial \ln L_S(M, \tau)}{\partial \tau}, \quad (13)$$

приведем уравнение для $n_S(M, \tau, T)$ к виду

$$\frac{\partial n_S(M, \tau, T)}{\partial T} = -\frac{\partial n_S(M, \tau, T)}{\partial \tau} - \Lambda_S(M, \tau) n_S(M, \tau, T). \quad (14)$$

Помимо уравнения (14) функция $n_S(M, \tau, T)$ удовлетворяет начальному условию

$$n_S(M, \tau, 0) = 0, \quad (15)$$

которое говорит о том, что в начале истории Галактики никаких звезд не было, а так же граничному условию

$$n_S(M, 0, T) = R(M, T). \quad (16)$$

Граничное условие описывает процесс звездообразования. В соответствии с (16) оно показывает, с какой скоростью появляются звезды с нулевым возрастом. Уравнение (14) вместе с начальным условием (15) и граничным условием (16) полностью задают динамику звездной популяции.

Уравнение для распределения цивилизаций $n_C(M, \tau, \omega, T)$ получается почти также. Разница лишь в том, что коммуникативная фаза цивилизации может иметь две различные причины окончания: естественный конец, задаваемый вероятностью выживания $L_C(M, \omega)$, и конец из-за гибели звезды. Соответствующее уравнение имеет вид

$$\frac{\partial n_C(M, \tau, \omega, T)}{\partial T} = -\frac{\partial n_C(M, \tau, \omega, T)}{\partial \omega} - [\Lambda_C(M, \omega) + \Lambda_S(M, \tau + \omega)] n_C(M, \tau, \omega, T). \quad (17)$$

Здесь введено очевидное обозначение $\Lambda_C(M, \omega)$ для логарифмической производной функции $L_C(M, \omega)$. Помимо уравнения (17) функция n_C удовлетворяет начальному условию

$$n_C(M, \tau, \omega, 0) = 0, \quad (18)$$

показывающему, что в момент образования Галактики цивилизаций еще не было, и граничному условию

$$n_C(M, \tau, 0, T) = n_S(M, \tau, T)B(M, \tau). \quad (19)$$

Граничное условие (19) показывает, что источником цивилизаций являются звезды и вероятность возникновения коммуникативной фазы дается плотностью вероятности $B(M, \tau)$.

Уравнения (14), (17) вместе начальными и граничными условиями (15), (16), (18), (19) полностью задают эволюцию как популяции звезд, так и популяции цивилизаций. Оказывается, задача имеет полное замкнутое аналитическое решение. Прямой подстановкой можно проверить, что решения уравнений имеют вид:

$$n_S(M, \tau, T) = R(M, T - \tau)L_S(M, \tau) \quad (20)$$

$$n_C(M, \tau, \omega, T) = n_S(M, \tau + \omega, T)B(M, \tau)L_C(M, \omega) \quad (21)$$

Искомые функции n_S и n_C весьма простым образом выражаются через модельные функции R, L_S, B, L_C . Именно поэтому Крейфелдту и Гиндилису удалось построить линейную теорию не прибегая к решению уравнений.

Для полного количества КЦ получаем выражение:

$$N_C(T) = \int_0^\infty dM \int_0^T d\tau \int_0^{T-\tau} d\omega n_S(M, \tau + \omega, T) B(M, \tau) L_C(M, \omega) = \int_0^\infty dM \int_0^T d\tau \int_0^{T-\tau} d\omega R(M, T - \tau - \omega)L_S(M, \tau + \omega)B(M, \tau)L_C(M, \omega). \quad (22)$$

Видно, что количество цивилизаций является линейным функционалом от функции $n_S(M, \tau, T)$, описывающей популяцию звезд, или непосредственно от функции $R(M, T)$, задающей скорость звездообразования, а также и от всех других модельных функций, входящих в теорию. Именно поэтому теорию следует назвать линейной. Формула (22) дает *полное* решение задачи о числе КЦ в линейном приближении.

Полученное решение (22) позволяет исследовать огромное количество различных задач для разнообразных модельных функций. Это разнообразие имеет смысл сразу ограничить некоторыми рамками, которые кажутся разумными. С этой целью в дальнейшем анализе будут использованы небольшие упрощения чисто технического характера.

Так как есть основания предполагать, что спектр масс рождающихся звезд слабо зависит от времени [40, стр. 189–190], будем считать, что функция $R(M, T)$ может быть факторизована на два множителя:

$$R(M, T) = R_*(T)F(M), \quad (23)$$

где $F(M)$ — нормированный на единицу начальный спектр масс звезд.

Будем считать, что все звезды одной массы имеют строго одно и то же время жизни на главной последовательности. Тогда можно записать

$$L_S(M, \tau) = \Theta[\tau_*(M) - \tau], \quad (24)$$

где Θ — функция единичного скачка, а $\tau_*(M)$ — время жизни звезд с массой M .

Будем считать, что функция $B(M, \tau)$ может быть факторизована

$$B(M, \tau) = \alpha(M)b(\tau), \quad (25)$$

где $\alpha(M)$ есть в чистом виде вероятность реализации подходящих условий для возникновения КЦ на звездах массы M , а $b(\tau)$ есть плотность вероятности, нормированная на единицу, описывающая распределение времен развития. Предполагается, что время развития не связано явно с массой звезды. Будем также предполагать, что и вероятность выживания коммуникативной фазы не связана явно с массой звезды, т. е.

$$L_C(M, \omega) = L_C(\omega). \quad (26)$$

Действительно, не видно, в чем мог бы заключаться механизм такой зависимости. Еще раз подчеркнем, что введенные выше упрощения имеют чисто технический характер, так как имеется точное аналитическое решение задачи в самом общем случае.

Выражение (22) с использованием упрощенных выражений для модельных функций может быть переписано в виде, удобном для практического интегрирования:

$$N_C(T) = \int_0^\infty dM \alpha(M) F(M) \int_0^T d\tau b(\tau) \int_0^{\omega_{max}(M)} d\omega R_*(T - \tau - \omega) L_C(\omega), \quad (27)$$

где

$$\omega_{max}(M) = \min[T - \tau, \tau_*(M) - \tau].$$

Из выражения (27) можно получить формулы теории Крейфелдта-Гиндилиса [38, 39]. Соответствующий вывод громоздок и вынесен в Приложение. Здесь покажем, как в предельном случае из (27) может быть получена формула Дрейка.

Предположим, что:

1. скорость образования звезд не зависит от времени;
2. все звезды имеют бесконечное время жизни;
3. время развития любой КЦ меньше возраста Галактики (текущий момент времени T) за вычетом максимальной длительности коммуникативной фазы.

Тогда легко показать, что формула (27) приводится к виду:

$$N_C = R_* \cdot \int_0^\infty \alpha(M) F(M) dM \cdot \int_0^\infty L_C(\omega) d\omega. \quad (28)$$

Первый интеграл в формуле (28) есть вероятность реализации подходящих условий возникновения КЦ, усредненная по всем типам звезд ($\bar{\alpha}$), второй интеграл есть средняя длительность коммуникативной фазы L . Поэтому выражение (28) можно переписать в виде

$$N_C = R_* \cdot \bar{\alpha} \cdot L. \quad (29)$$

Это и есть формула Дрейка. Отличие от выражения (3) лишь в том, что здесь все вероятностные факторы Дрейка собраны в один множитель $\bar{\alpha}$. В предположениях 1–3 факторы Дрейка приобретают ясный вероятностный смысл.

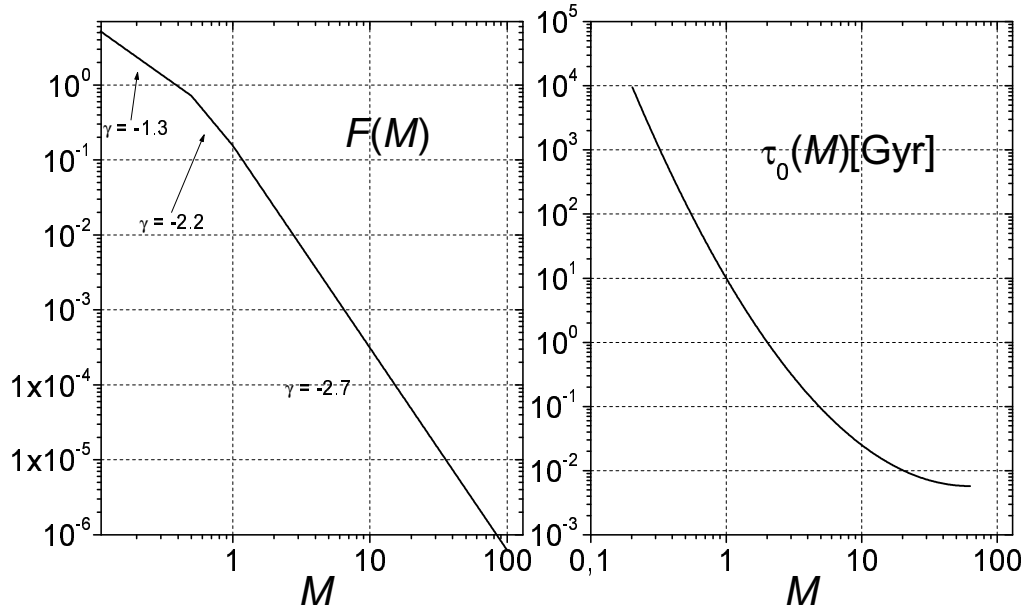


Рис. 7: Начальный спектр масс звезд [41] (левый график) и время жизни звезд [40, С.58] (правый график). Масса звезд в солнечных массах. Величина γ на графике $F(M)$ показывает показатель степенной функции, отвечающий разным участкам спектра.

3.4 Результаты вычислений в линейной теории

В расчетах использовался начальный спектр масс звезд по данным [41] и зависимость времени жизни звезд на главной последовательности от массы, аппроксимированная в [40, С.58]. На рис. 7 показаны соответствующие функции $F(M)$ и $\tau_*(M)$.

Существуют разные способы экспериментального определения истории скорости звездообразования $R_*(T)$ (Star Formation Rate, SFR). В одном из способов для возможно большего количества звезд локального окружения Солнца (обычно используются звезды класса G) определяется их возраст. По возрасту можно определить, когда звезда возникла, и, таким образом, построить функцию распределения для времен рождения звезд. Очевидно, это распределение будет пропорционально SFR. Таким способом SFR была независимо определена в работах [42] (В. А. Twarog) и [43] (Н. Meusinger). В относительной нормировке согласно работе [44] полученные функции показаны на рис. 8. Видно, что разные данные разумно согласуются между собой. В вычислениях в нашей работе использовались усредненные и интерполированные данные работ [42, 43] (показаны пунктиром на рис. 8). Другие способы определения SFR приводят к похожим результатам [44, 45], суть которых сводится к тому, скорость звездообразования прошла мощный максимум 5–7 млрд. лет назад. В области максимума интенсивность звездообразования была в несколько раз выше современной.

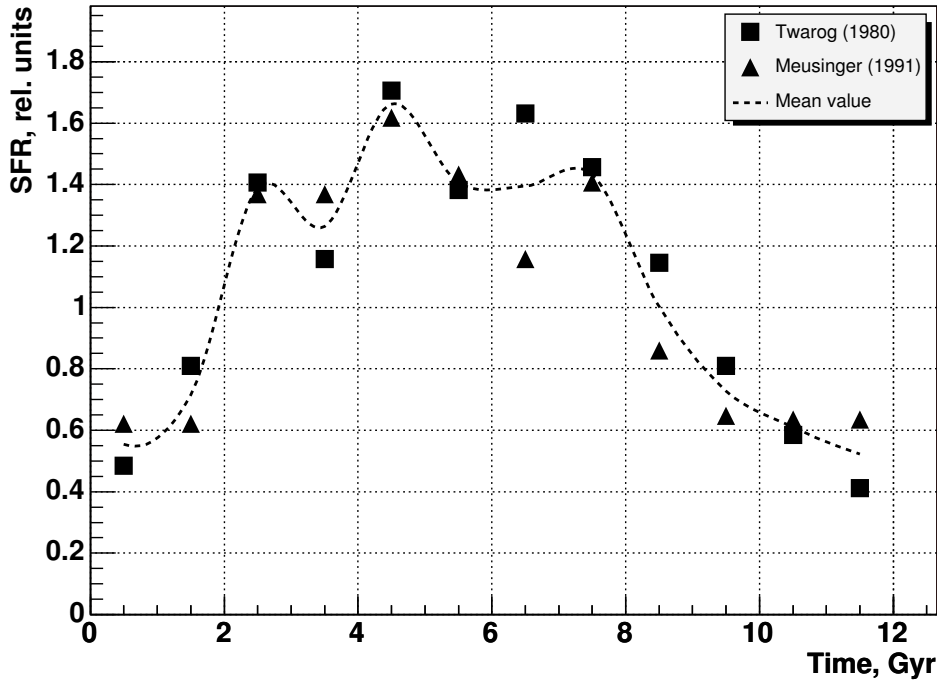


Рис. 8: Зависимость скорости звездообразования от времени

Для практического использования литературных данных была подобрана такая нормировка SFR, чтобы современная масса звезд диска получилась равной $8,7 \cdot 10^{10} M_{\odot}$ в соответствии с [46, С.70]. Это отвечает современной скорости звездообразования 11,3 штук в год, или примерно $5,5 M_{\odot}$ в год, так как средняя масса рождаемой звезды составляет около $0,5 M_{\odot}$. Эти величины разумно согласуются с наиболее вероятными значениями современной SFR по литературным данным: $(4 \pm 1) M_{\odot}$ солнечных масс в год [40, С.142].

Значения SFR в [44] протабулированы от $T = 0$ до $T = 12$ млрд. лет. Соответственно, возраст галактического диска в расчетах принимается равным 12 млрд. лет. В будущем Галактики значение SFR экстраполируется равным значению в настоящее время.

В качестве вероятности реализации подходящих условий $\alpha(M)$ взята линейная функция, равная нулю при $M = 0.5 M_{\odot}$ и равная 1 при $M = 2 M_{\odot}$ (рис. 9, левый график). Такой выбор $\alpha(M)$ мотивируется тем, что для звезд с массой меньше $0.5 M_{\odot}$ зона жизни становится очень узкой, а также тем, что такие звезды проявляют вспышечную активность, что не должно способствовать возникновению высокоорганизованной жизни. Значение 1 при $2 M_{\odot}$ выбрано в достаточной степени произвольно, но, как будет показано ниже, это не влияет на общность результатов. Для звезд массы Солнца такой выбор дает вероятность реализации подходящих условий $1/3$, средняя вероятность для всех звезд, представляющих интерес (от $0,5$ до 2 масс Солнца, с учетом спектра масс) оказывается около $0,02$.

В качестве функции плотности распределения времен развития КЦ $b(\tau)$ выбрана

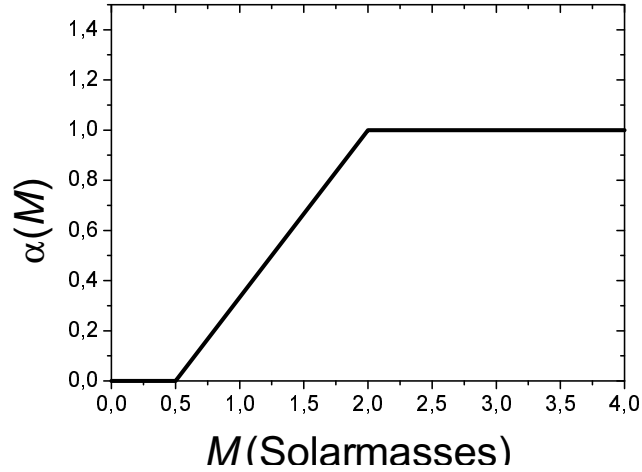


Рис. 9: Выбор вероятности реализации подходящих условий для возникновения КЦ $\alpha(M)$.

функция, основанная на масштабировании и сдвиге функции

$$b_0(\tau) = \tau^2 \exp(-\tau). \quad (30)$$

При выборе конкретных параметров $b(\tau)$ для расчета имеется почти полный произвол. Чтобы как-то сократить многообразие вариантов, мы исходили из гипотезы существования универсальной шкалы времени эволюции (см. раздел 1), в соответствии с которой время развития КЦ на других планетах не должно сильно отличаться от 5 млрд. лет, имевших место на Земле (5 млрд. лет — это возраст Солнца). Кроме того, рассматриваются два альтернативных варианта: с существенно более короткой и существенно более длинной шкалой времени эволюции, но такие, что ни один из них не противоречит времени эволюции на Земле. Выбор функций $b(\tau)$ показан на рис. 10.

Вероятность выживания для коммуникативной фазы бралась в виде падающей экспоненты:

$$L_C(\omega) = \exp(-\omega/\Omega), \quad (31)$$

причем всюду полагалось $\Omega = 1000$ лет. Как будет пояснено ниже, выбор Ω как и выбор максимального значения $\alpha(M)$, также практически не ограничивает общность результатов.

На рис. 11 показаны результаты расчетов, выполненных в указанных выше предположениях, и отвечающие различным распределениям времен развития КЦ. Все кривые имеют хорошо выраженный максимум, связанный с пиком скорости SFR. Пик в числе цивилизаций является линейным откликом на пик SFR и может быть назван *линейной демографической волной*. Для основного варианта расчетов (сплошная линия) настоящее время (12 млрд. лет) попадает в область максимума линейной демографической волны.

Обращает на себя внимание различная асимптотика при больших временах T для различных распределений времен развития. В соответствии с формулой Дрей-

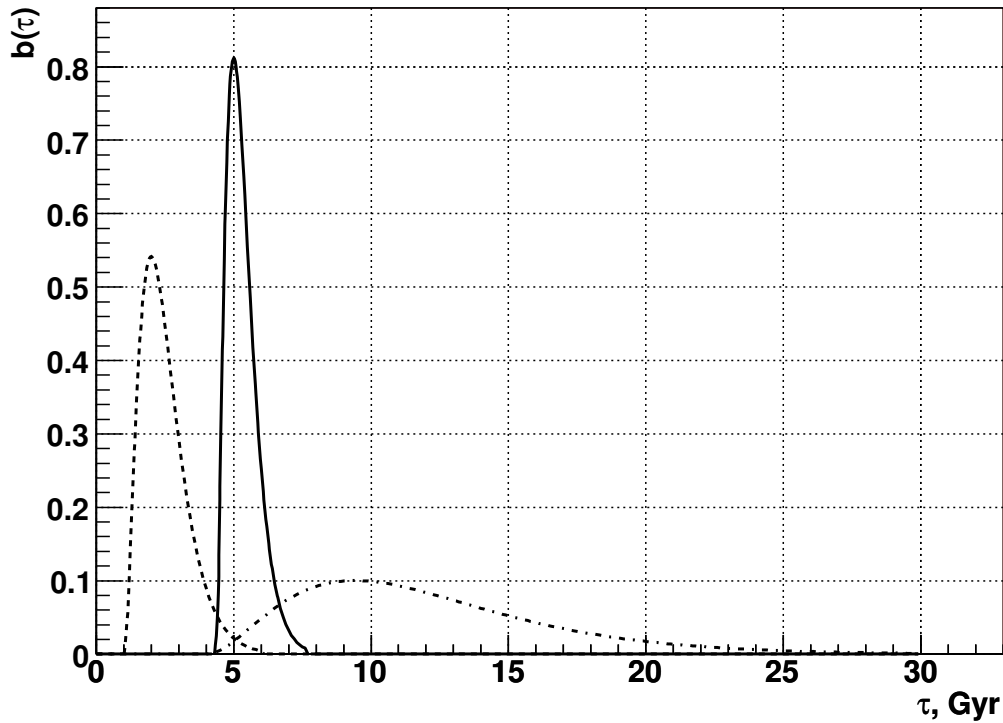


Рис. 10: Выбор вероятностей времен развития. Сплошная линия — вариант, основанный на гипотезе универсальной шкалы времени эволюции, и альтернативные варианты.

ка, для установившейся SFR следовало бы ожидать одной и той же асимптотики независимо от времени развития. Этот эффект связан с конечным временем жизни звезд, который формулой Дрейка не учитывается. Для коротких времен развития КЦ могут появляться около любых звезд, включая тяжелые короткоживущие, в то время как при больших временах развития подходящими являются только звезды класса G и более поздние. С этим и связан недостаток КЦ в асимптотике для больших времен развития. Этим же обстоятельством объясняется различная высота демографических волн.

Отметим, что, хотя рис. 11 построен для очень ограниченного набора параметров, с помощью него можно получить оценки для многих других сценариев. Так, амплитуда кривых будет пропорциональна среднему времени жизни КЦ (параметр Ω в формуле (31)) и практически не зависит от формы функции $L_C(\omega)$, если только речь не идет о временах жизни КЦ, сравнимых с временем развития КЦ или возрастом Галактики. Амплитуда кривых будет также пропорциональна максимальному значению вероятности реализации подходящих условий (см. рис. 9). Кроме того, с использованием функций $b(\tau)$ на рис. 10 графики на рис. 11 можно грубо интерполировать для получения зависимостей $N_C(T)$ и для других времен развития. Ясно, что в задаче о числе цивилизаций очень высокая точность пока не требуется. Приведем простой пример использования рис. 11. Пусть среднее время жизни цивилизации со-

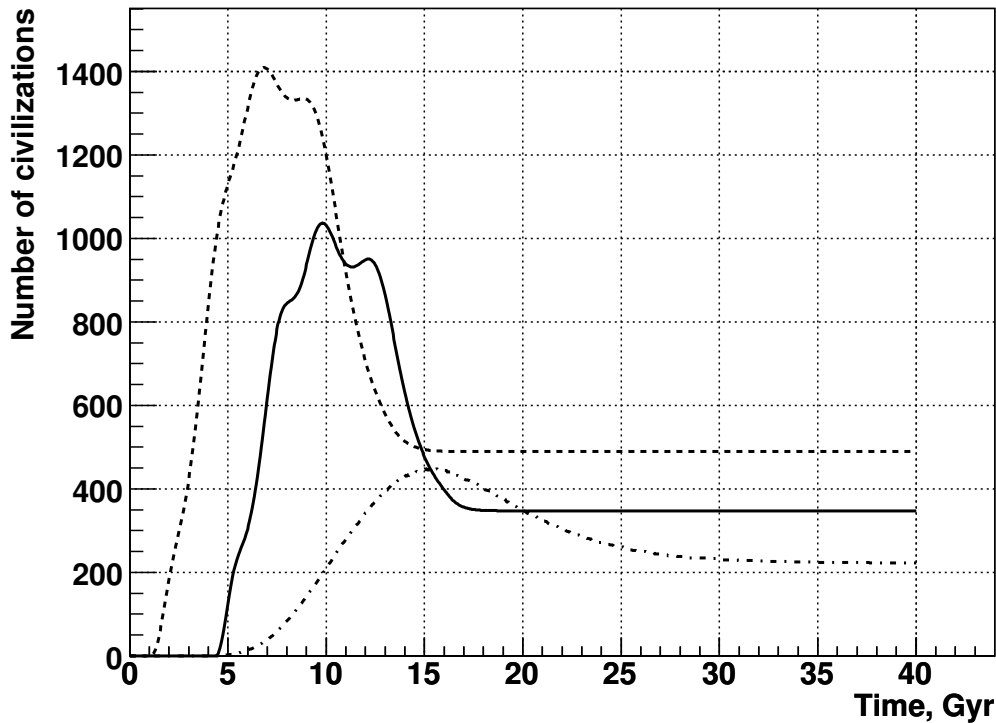


Рис. 11: Результаты расчетов простой линейной теории, отвечающие разным распределениям времен развития КЦ. Типы линий на этом графике соответствуют линиям, использованным на рис. 10 с различными функциями $b(\tau)$.

ставляет 100000 лет, но максимальное значение вероятности реализации подходящих условий не 1, как на рис. 9, а лишь 0,1. Тогда амплитуда кривых на рис. 11 увеличится в 100 раз за счет роста времени жизни и уменьшится в 10 раз за счет убыви вероятности. Если предполагать, что гипотеза универсальной шкалы времени эволюции верна, то по графику получаем, что в настоящее время в Галактике должно быть около 10000 КЦ. С помощью рис. 5 находим, что вероятное расстояние до ближайшей цивилизации около 730 св. лет со стандартным отклонением около 300 св. лет.

3.5 Гипотеза самосогласованного галактического происхождения жизни и динамика популяции КЦ

До сих пор предполагалось, что условия протекания эволюции, приводящие к возникновению КЦ около звезд, остаются неизменными на протяжении всей истории галактического диска. В действительности это может быть не так по многим причинам (например, из-за изменяющегося фона космических лучей). И это заведомо не так, если верна гипотеза самосогласованного галактического происхождения жизни (см. раздел 2).

В этом случае до первого появления жизни в результате фазового перехода Га-

лактики, эволюция, приводящая к возникновению КЦ, на планетах даже не могла начаться. После фазового перехода планеты, на которых протекает эволюция жизни, делятся на две категории.

В первую категорию входят планеты, на которых жизнь возникла в непосредственно в процессе фазового перехода. Это огромное число планет, которые непосредственно перед переходом находились в фазе предбиологической эволюции. На таких планетах почти синхронно (с точностью до характерного времени панспермии, около 300 млн. лет, см. раздел 2) начинается эволюция биосферы. Если верна также и гипотеза универсальной шкалы времени эволюции, на этих планетах с относительно небольшим разбросом по времени (порядка ширины распределения $b(\tau)$) возникают КЦ, что должно привести к мощной вспышке разума в Галактике спустя среднее время развития до коммуникативной фазы после фазового перехода. Получаем демографический пик, который будем называть *фазовым пиком*, в отличие от линейной демографической волны, связанной с максимумом SFR.

Во вторую категорию входят планеты, сформировавшиеся после фазового перехода. На таких планетах эволюция биосферы начинается почти сразу после формирования планеты. Время развития до возникновения жизни на этих планетах практически равно нулю, так как жизнь на них появляется исключительно в результате панспермии. Судя по всему, Земля принадлежит к планетам второй категории, так как время предбиологической эволюции на ней очень мало.

Найдем количество КЦ в Галактике с учетом фазового перехода. Легче всего количество цивилизаций для каждой из двух категорий планет найти отдельно, и полное количество КЦ вычислить как сумму. Обозначив количество цивилизаций на планетах первой и второй категории соответственно как $N_C^{(1)}(T)$ и $N_C^{(2)}(T)$ получим:

$$N_C(T) = N_C^{(1)}(T) + N_C^{(2)}(T). \quad (32)$$

Предполагая, что время фазового перехода Галактики много меньше ширины распределения времен развития $b(\tau)$, можно считать фазовый переход мгновенным. Обозначим момент фазового перехода как T_0 . Тогда можно показать, что $N_C^{(1)}(T)$ дается выражением:

$$N_C^{(1)}(T) = \int dM F(M) \alpha(M) \int_{T-T_0}^{T_{max}(M)} d\tau R_*(T-\tau) \times \int_0^{T-T_0} b(T-T_0-\omega) L_C(\omega) d\omega, \quad (33)$$

где

$$T_{max}(M) = \max\{\min[T, \tau_*(M)], T - T_0\}.$$

Формула (33) является обобщением формулы, полученной В. С. Троицким (см. [33], формула (8)), который исследовал динамику популяции КЦ в предположении однократного «мгновенного» происхождения жизни. В формуле Троицкого не учитывалась переменность SFR, время жизни КЦ считалось строго фиксированным и имелись некоторые другие упрощения, которых нет в нашей формуле (33).

Нетрудно понять, что выражение для $N_C^{(2)}(T)$ можно получить точно также, как и основную формулу для числа КЦ линейной теории (22), но нужно считать, что галактический диск начал формироваться только в момент фазового перехода T_0 . Это

приводит к тому, что остается справедливой формула (22), но в верхних пределах всех интегралов нужно заменить T на $T - T_0$.

На рис. 12 приведены результаты расчетов динамики числа КЦ при возникновении жизни в фазовом переходе Галактики, в предположении $T_0 = 6$ млрд. лет. Это число соответствует оценке снизу длительности предбиологической эволюции на изолированной планете (см. раздел 2). Однако, поскольку фактор ускорения предбиологической эволюции из-за предбиологической панспермии неизвестен, и неизвестно также число фаз предбиологической эволюции, то величину 6 млрд. лет можно считать достаточно произвольной. Предполагается также, что справедлива гипотеза универсальной шкалы времени эволюции, т. е. распределение $b(\tau)$ описывается средней кривой на рис. 10. Для сравнения на рис. 12 показан также расчет в простой линейной модели. То, что земная цивилизация в пределах разумных погрешностей оказалась где-то вблизи максимума фазового пика можно считать случайным обстоятельством, связанным с выбором T_0 . Как будет видно из следующего раздела (раздел 4), мощный демографический пик особенно важен в связи с возможными нелинейными явлениями в развитии популяции КЦ, которые могут привести к новому фазовому переходу в Галактике, на сей раз связанному со становлением особого рода культурной среды — галактического культурного поля. Таким образом, возможно Галактика переживает два фазовых перехода — первый, связанный с возникновением жизни, и второй — связанный с возникновением культурного поля.

Земля, как уже говорилось, в рамках рассматриваемых здесь моделей должна быть отнесена к планетам, сформировавшимся после фазового перехода Галактики к эре жизни. Как видно из рис. 12, большая часть КЦ, связанных с такими планетами, появляется после фазового пика. Однако, как видно из того же рисунка, существуют планеты этой категории, на которых КЦ возникают до фазового пика, хотя их число относительно невелико. Поэтому нельзя с уверенностью сказать, находится ли фазовый пик в прошлом, настоящем, или будущем.

В заключение этого раздела сделаем одно методическое замечание. Фазовый переход к эре жизни — это явление существенно нелинейное, но здесь не описывалась внутренняя динамика этого перехода. С точки зрения развитого формализма переход был некоторым внешним фактором, который был описан феноменологически, а при описании реакции популяции КЦ на этот внешний фактор мы не вышли за рамки линейной теории. Из формулы (33) видно, что $N_C^{(1)}(T)$ зависит линейно от каждой из модельных функций. Поэтому по отношению к рис. 12 верны все замечания, которые делались к рис. 11 о его связи с другими сценариями эволюции КЦ.

4 Динамические обобщения формулы Дрейка: нелинейная теория.

4.1 Нелинейные процессы в популяции космических цивилизаций

В изложенной выше линейной теории распределения $B(M, \tau)$ и $L_C(\omega)$, описывающие рождение и жизнь коммуникативных цивилизаций, предполагались не зависящими от галактического времени ни явно, ни косвенно — через количество имеющих

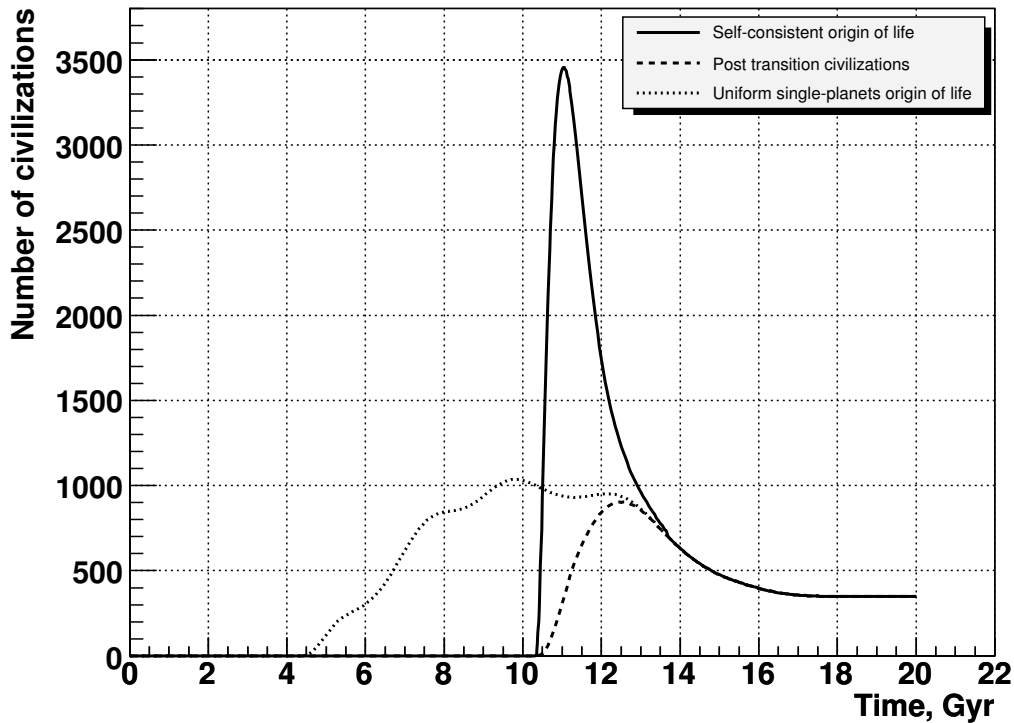


Рис. 12: Линейная динамика популяции КЦ при возникновении жизни в Галактике путем самосогласованного фазового перехода спустя 7 млрд. лет после начала формирования галактического диска и ее сравнение с простой линейной динамикой при постоянном формировании КЦ с временем развития 4 млрд. лет

ся цивилизаций или каким-нибудь иным способом. Функция $R(M, T)$, описывающая скорость образования звезд, также считалась никак не зависящей от популяции КЦ. Это так до тех пор, пока предполагается, что цивилизации не влияют ни друг на друга, ни на условия возникновения других цивилизаций, ни на условия возникновения звезд. Теория, предполагающая такое влияние, перестает быть линейной. Три важных распределения, на которые в принципе может оказывать влияние деятельность КЦ — $R(M, T)$, $B(M, \tau)$ и $L_C(\omega)$, — наводят на мысль о трех основных возможных механизмах нелинейных связей.

Первая возможность, связанная с функцией $R(M, T)$ — «звездная инженерия»: искусственное создание звезд, влияние на спектр масс образовавшихся звезд и т. д. Не будем останавливаться на этой возможности подробно.

Вторая возможность — влияние на распределение $B(M, \tau)$ — должна означать какой-то сорт направленной панспермии жизни либо разумной жизни. Нетрудно понять, что такое влияние может породить процесс с положительной обратной связью: чем больше цивилизаций, тем интенсивнее идет процесс панспермии, тем больше возникает новых цивилизаций, что еще усиливает процесс панспермии и т. д. Это может приводить к лавинообразным явлениям, напоминающим фазовый переход в масштабе Галактики с переходом в эру жизни (см. раздел 2).

Очевидно, направленная панспермия требует некоторого межзвездного транспорта. По поводу возможности межзвездных перелетов ничего не известно, поэтому трудно сделать какие-то разумные предположения о количественных характеристиках процесса направленной панспермии. Такие процессы трудно моделировать, и здесь не будет предприниматься такой попытки.

Третьей разновидностью нелинейных явлений — связанной с изменениями вероятности $L_C(\omega)$, — может быть взаимное влияние цивилизаций друг на друга за счет контактов по каналам связи. Имеется в виду, что под влиянием контактов может меняться длительность коммуникативной фазы. Вопрос о том, как может меняться эта длительность, конечно, крайне сложный. Однако, не ограничивая общности, можно считать, что КЦ делятся на три категории: первая категория — для которых контакт «вреден», так как сокращает длительность коммуникативной фазы, вторая категория — нейтральные КЦ, на продолжительность жизни которых контакт не оказывает влияния, и третья категория — для которых контакт «полезен», так как продлевает коммуникативную фазу. Назовем цивилизации последней категории *экстравертными*, и будем использовать для них аббревиатуру ЭКЦ. Наше мнение, которое мы стараемся обосновать в разделе 5 настоящей статьи, состоит в том, что значительная часть КЦ может быть экстравертной.

Можно предполагать, что одним из важных свойств ЭКЦ является в каком-то смысле увеличение эффективности поиска партнеров и установления связи под влиянием уже установленных контактов. Действительно, на основе приобретенного опыта такие цивилизации получают дополнительную информацию, как и где можно найти другие цивилизации, и, кроме того, польза от установленного контакта может стимулировать поиски новых контактов и передачу собственной информации. Это обстоятельство ниже будет существенным образом использовано.

Важно, что если ЭКЦ вообще существуют, то в их популяции могут происходить интересные нелинейные явления. Нетрудно понять, что здесь может начаться процесс с положительной обратной связью. Чем больше в Галактике ЭКЦ, тем выше становится вероятность контакта, контакт увеличивает продолжительность жизни ЭКЦ, что ведет к росту популяции ЭКЦ, что еще более увеличивает вероятность контакта и т. д. Петля положительной обратной связи может привести к лавинообразному переходу в масштабе Галактики, сопровождаемому мощной вспышкой числа ЭКЦ с последующей стабилизацией плотности популяции на очень высоком уровне. ЭКЦ становятся преобладающим типом цивилизаций в Галактике, даже если до перехода это было не так. Некоторые детали этого явления и другие важные особенности динамики популяции ЭКЦ с учетом взаимного влияния по каналам связи описывает предлагаемый ниже формализм.

4.2 Общая нелинейная теория влияния по каналам связи

Для дальнейшего изменим интерпретацию распределений $B(M, \tau)$ и $L_C(M, \omega)$ (см. разд. 3.2). Пусть теперь они описывают не любые КЦ, но только ЭКЦ. В этом случае остается справедливым весь развитый выше линейный формализм, но он описывает популяцию не всех КЦ, а только подпопуляцию ЭКЦ. Покажем, как исходя из линейной теории можно построить нелинейную теорию влияния по каналам связи.

В линейной теории текущее состояние отдельной цивилизации описывалось только возрастом коммуникативной фазы ω . Это вместе с продолжительностью жизни звезды и моментом рождения цивилизации давало возможность статистически предсказать судьбу каждой цивилизации. Такому описанию соответствовало представление всех КЦ Галактики функцией распределения $n_C(M, \tau, \omega, T)$. Для учета взаимного влияния цивилизаций по каналам связи их надо описать более детально. Будем считать, что наряду с возрастом каждая цивилизация описывается некоторым вектором параметров \mathbf{q} , который мы будем называть «потенциалом». Термин «потенциал» надо понимать весьма условно. Это некоторый набор характеристик ЭКЦ, от которого зависит, прежде всего, ожидаемая продолжительность коммуникативной фазы (но не только это, см. ниже). Предполагается, что контакт в каком-то смысле увеличивает потенциал ЭКЦ, и благодаря этому увеличивается продолжительность коммуникативной фазы. Таким образом, следует считать, что вероятность выживания цивилизации зависит от ее потенциала, и функция распределения цивилизаций тоже должна включать потенциал одним из аргументов:

$$L_C(M, \omega) \rightarrow L_C(M, \mathbf{q}, \omega) \quad (34)$$

$$n_C(M, \tau, \omega, T) \rightarrow n_C(M, \tau, \mathbf{q}, \omega, T). \quad (35)$$

Уточним теперь представление об увеличении эффективности установления контактов под действием уже установленных контактов. Предположим, что от состояния двух цивилизаций A и B , то есть от их возрастов и потенциалов (\mathbf{q}_A, ω_A) и (\mathbf{q}_B, ω_B) , зависит предельное расстояние, на котором они могут установить между собой хотя бы одностороннюю связь. Обозначим это расстояние как $r(\mathbf{q}_A, \omega_A, \mathbf{q}_B, \omega_B)$. Увеличение эффективности контактов будет означать просто рост предельного расстояния контакта с ростом потенциала цивилизаций.

Теперь нужно ввести динамическую модель взаимодействия цивилизаций — как меняется потенциал цивилизации под влиянием контакта. Тогда через функцию $L_C(M, \mathbf{q}, \omega)$ можно будет узнать, как меняется ожидаемое время ее жизни. В случае получения цивилизацией A информации от единственной цивилизации B такая модель может быть фиксирована соотношением

$$\frac{d\mathbf{q}_A}{dT} = \mathbf{K}(\mathbf{q}_A, \omega_A, \mathbf{q}_B, \omega_B), \quad (36)$$

которое показывает только, что скорость изменения потенциала цивилизации A зависит от потенциала и возраста обеих цивилизаций. Функция $\mathbf{K}(\mathbf{q}_A, \omega_A, \mathbf{q}_B, \omega_B)$ задает модель контакта. В общем случае должна быть задана последовательность аналогичных функций, описывающая взаимодействие с двумя, тремя, и т. д. цивилизациями. Существенное предположение, фиксированное формулой (36), заключается в том, что скорость изменения контакта зависит только от текущих параметров цивилизаций, но не от предыстории (в последнем случае в правой части равенства (36) появился бы интеграл по времени).

Уравнение (17) для функции распределения цивилизаций сохраняет свою силу, в нем лишь появляется новый член, описывающий «ток» потенциала цивилизаций в \mathbf{q} -пространстве благодаря взаимодействию между ними. Кроме того, краевое условие теперь должно описывать, с какими весами ЭКЦ начинают коммуникативную

фазу. Полная задача для функции распределения $n_C(M, \tau, \mathbf{q}, \omega, T)$ записывается следующим образом:

$$\frac{\partial n_C}{\partial T} = -\frac{\partial n_C}{\partial \omega} - [\Lambda_C(M, \mathbf{q}, \omega) + \Lambda_S(M, \tau + \omega)]n_C - \frac{\partial}{\partial \mathbf{q}}[\mathbf{j}(\mathbf{q}, \omega, T)n_C] \quad (37)$$

$$n_C(M, \tau, \mathbf{q}, 0, T) = n_S(M, \tau, t)B(M, \tau, \mathbf{q}) \quad (38)$$

$$n_C(M, \tau, \mathbf{q}, \omega, 0) = 0. \quad (39)$$

Нетрудно видеть, что уравнения (37), (38), (39) являются прямыми аналогами уравнений соответственно (17), (19), (18) линейной теории. Напомним, что теперь уравнения описывают не всю популяцию цивилизаций, а только подпопуляцию экстравертных цивилизаций.

Выражение для тока $\mathbf{j}(\mathbf{q}, \omega, T)$ определяется деталями модели контакта. В общем случае (с учетом множественных контактов) получить для него выражение — не простая задача. В простейшем случае можно предполагать, что эффект от взаимодействия с несколькими цивилизациями одновременно аддитивен, т. е. при приеме цивилизацией A информации одновременно от цивилизаций B_1, B_2, \dots скорость изменения потенциала \mathbf{q}_A определяется суммой членов, отвечающих каждой цивилизации B_i :

$$\frac{d\mathbf{q}_A}{dt} = \sum_i \mathbf{K}(\mathbf{q}_A, \omega_A, \mathbf{q}_{B_i}, \omega_{B_i}). \quad (40)$$

Введем важную для дальнейшего характеристику — среднее число партнеров по контакту за время коммуникативной фазы ЭКЦ. Обозначим эту величину X , и будем называть ее степенью насыщенности контактов. Состояние Галактики, когда $X \ll 1$ будем называть *эрой одиночества*, состояние $X > 1$ — *эрой насыщения контактов*. Для эры насыщения контактов можно использовать также термин *эра культурного поля*, смысл которого раскрывается в разделе 5.

Введенное выше аддитивное приближение во всяком случае хорошо будет описывать как начальную стадию развития нелинейных процессов — переход от эры одиночества к эре насыщения контактов, так и возможную стадию завершения эры насыщения контактов (если темп возникновения новых цивилизаций по какой-то причине катастрофически падает), так как в обоих случаях процесс протекает при малой вероятности контакта одновременно со многими цивилизациями (X сопоставимо или меньше единицы). Можно показать, что для аддитивной модели контакта выражение для тока имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} \mathbf{j}(\mathbf{q}, \omega, T) = & \\ & \frac{4\pi}{V_G} \int d\omega' \int d\mathbf{q}' \mathbf{K}(\mathbf{q}, \omega, \mathbf{q}', \omega') \int_{T-r(\mathbf{q}, \omega, \mathbf{q}', \omega')/c}^T cdT' [c(T - T')]^2 \cdot \\ & \int dM \int d\tau n_C(M, \tau, \mathbf{q}', \omega', T'). \end{aligned} \quad (41)$$

В формуле (41) V_G означает объем галактики, а c — скорость света. Выражение (41) получено для очень большой и однородной галактики, т. е. для такой галактики, где цивилизации распределены равномерно и краевыми эффектами можно пренебречь. В более реалистичной модели следовало бы вводить явную зависимость плотности распределения цивилизаций и всех модельных функций от координат, а в выражении (41) появилось бы интегрирование по объему Галактики.

4.3 Численно решаемая нелинейная модель

Из-за наличия члена, отвечающего току потенциала, уравнение (37) оказывается очень сложным. Это нелинейное интегро-дифференциальное уравнение в частных производных и кратных интегралах. Об аналитическом решении не может быть и речи. Однако, оно не безнадежно сложное и поддается численному решению для простых моделей контакта при некоторых дополнительных упрощающих предположениях. Одна такая модель рассмотрена в этом разделе.

Будем считать, что потенциал цивилизации представляется единственным скалярным параметром q (вместо введенного выше вектора параметров \mathbf{q}), представляющим собой что-то вроде условного технологического потенциала. Предполагается, что все остальные существенные характеристики цивилизации являются однозначными функциями q . В частности, энергетические и информационные ресурсы цивилизации в каком-то смысле пропорциональны q (здесь нет смысла уточнять это утверждение, оно носит сугубо эвристический характер). Более того, предполагается, что q представляет не мгновенное значение потенциала, а значение потенциала, усредненное по всей коммуникативной фазе. Будем считать по определению, что потенциал есть безразмерная величина, определенная таким образом, что для изолированных ЭКЦ потенциал в среднем равен точно единице. Контакт между цивилизациями влияет на потенциал так, что потенциал может увеличиваться (что отражается и на значении этого параметра при усреднении по всей коммуникативной фазе).

Будем пренебрегать конечностью времени жизни звезд, кроме того опустим все зависимости модельных функций от массы звезды. Для простоты будем также считать, что вероятность выживания цивилизации является чистой экспонентой, следовательно в уравнении (37) вместо функции $\Lambda_C(M, \mathbf{q}, \omega)$ будет фигурировать более простая функция $\Lambda_C(q)$, а слагаемое $\Lambda_S(M, \tau + \omega)$ вообще будет отсутствовать.

Далее, *a)* поскольку q есть усредненная по времени жизни цивилизации характеристика; *b)* поскольку вероятность выживания цивилизации есть чистая экспонента, следовательно плотность вероятности окончания коммуникативной фазы не зависит от времени; *c)* поскольку гибель звезды не может служить причиной гибели цивилизации, то возраст цивилизации ω и момент ее рождения τ вообще можно не рассматривать. Поэтому всю популяцию ЭКЦ вместо полной функции $n_C(M, \tau, \mathbf{q}, \omega, T)$ можно описывать более простой функцией $n_C(q, T)$.

Так как рассматривается модельная очень большая и однородная галактика, то удобно от функции распределения $n_C(q, T)$ для всей галактики перейти к функции распределения плотности цивилизаций в единичном объеме $\rho(q, T)$, нормированной таким образом, что

$$V_G \int \rho(q, T) dq = N_C(T). \quad (42)$$

Не нарушая общности, удобно несколько изменить постановку задачи. Так как возможное влияние КЦ на скорость рождения новых цивилизаций не рассматривается, то скорость генерации новых цивилизаций можно считать заданной функцией времени. Эту функцию легко получить из расчетов в рамках линейной теории. Скорость рождения цивилизаций, нормированную на единицу объема галактики, обозначим $f(T)$, а плотность распределения параметра q для изолированных цивилизаций обозначим $\phi_0(q)$. Распределение вероятностей $\phi_0(q)$ нормировано на единицу,

и предполагается, что среднее значение q для распределения ϕ_0 равно единице, так как средний потенциал изолированной цивилизации по определению есть единица. С учетом всех перечисленных предположений уравнения (37), (38) могут быть переписаны в виде единственного уравнения

$$\frac{\partial \rho(q, T)}{\partial T} = -\Lambda_C(q)\rho(q, T) + f(T)\phi_0(q) - \frac{\partial}{\partial q}[j(q, T)\rho(q, T)]. \quad (43)$$

Физический смысл уравнения (43) прост. Первое слагаемое в правой части описывает сток функции распределения за счет исчезновения цивилизаций; второе слагаемое описывает источник функции распределения за счет возникновения новых цивилизаций, распределенных по потенциалам согласно ϕ_0 ; третье слагаемое описывает перенос функции распределения в пространстве q за счет взаимодействия цивилизаций, причем $j(q, T)$ есть соответствующий ток. Начальные условия для функции $\rho(q, T)$ могут быть заданы в любой момент времени произвольно, и уравнение (43) может решаться как начальная задача Коши.

Осталось получить явное выражение для тока $j(q, T)$, для чего нужно уточнить модель контакта (36). Рассмотрим контакт двух цивилизаций A и B , причем A — приемник информации, B — передатчик. Предположим, что увеличение потенциала приемника пропорционально количеству полученной информации, и, следовательно, пропорционально потенциалу передатчика и времени контакта. Далее, учтем тот опытный факт, что развитие идет, как правило, от достигнутого уровня, то есть имеет мультипликативный, а не аддитивный характер. Тогда закон изменения потенциала цивилизации A под действием контакта с цивилизацией B можно записать в дифференциальной форме следующим образом: $dq_A = Kq_Aq_B dT$, где K — некоторый коэффициент пропорциональности. В процессе контакта «обучаемость» цивилизации A может изменяться, например — падать, и при достижении некоторого предельного потенциала вообще достигать насыщения. В принципе, может иметь место и нелинейность по потенциалу q_B (например, информация от B может оказаться слишком сложной для усвоения ее A , если потенциал q_A мал). Эти обстоятельства можно учесть, введя в коэффициент K зависимость от q_A и q_B . Тогда модель контакта между двумя цивилизациями может быть записана как

$$\frac{dq_A}{dT} = K(q_A, q_B)q_Aq_B, \quad (44)$$

что является специальным частным случаем уравнения (36). Предполагая эффект от нескольких контактов одновременно аддитивным, непосредственно из выражения (41) можно получить выражение для тока

$$j(q, T) = 4\pi c^3 q \int dq' q' K(q, q') \int_{T-r(q, q')/c}^T dT' (T - T')^2 \rho(q', T'), \quad (45)$$

где предельное расстояние контакта $r(q, q')$ нужно понимать в усредненном смысле, подобно тому, как понимается и сам параметр q (поэтому у функции $r()$ отсутствуют аргументы ω, ω').

Для проведения расчетов необходимо задать модельные функции $K(q_A, q_B)$, $\Lambda_C(q)$, $r(q_A, q_B)$. Было исследовано множество различных вариантов модельных функций,

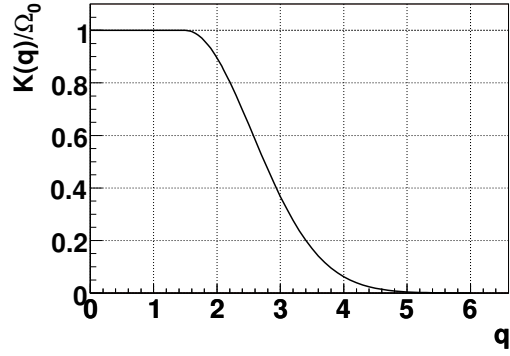


Рис. 13: Функция $K(q)$, использованная в расчетах.

ниже мы остановимся только на тех, которые были использованы в расчетах, результаты которых здесь приводятся.

Необходимо составить представление о том, каков может быть масштаб величины коэффициента K в модели контакта (44). Предположим, что когда ЭКЦ A находится под влиянием B в течение всей коммуникативной фазы, q_A увеличивается по порядку величины на q_B , по крайней мере в случае $q_A \sim 1$ и $q_B \sim 1$ в исходном состоянии. Нетрудно понять, что это имеет место, когда K по порядку величины совпадает со средним обратным временем жизни изолированной цивилизации $\Omega_0 = 1/L_0$: $K_0 \equiv K(1, 1) \sim \Omega_0$ (мы ввели обозначение L_0 для среднего времени жизни изолированной цивилизации. Принималось $L_0 = 1000$ лет). Именно такое значение K_0 было принято в расчетах. Для простоты считалось, что коэффициент K фактически зависит только от потенциала приемника $K = K(q_A)$, при этом таким образом, что $K(1) = \Omega_0$, но по мере роста потенциала цивилизации ее способность к «обучению» постепенно падает до нуля. Использованная функция показана на рис. 13.

Считалось, что время жизни коммуникативной фазы растет пропорционально квадрату потенциала цивилизации (но сам потенциал может расти в очень ограниченных пределах, как это понятно из рис. 13). Так как так должно быть $\Lambda_C(1) = \Omega_0$, то

$$\Lambda_C(q) = \Omega_0/q^2. \quad (46)$$

Предельное расстояние контакта было выбрано в виде

$$r(q_A, q_B) = r_0 \times (q_A q_B)^{1/5}, \quad (47)$$

где $r_0 = 400$ св. лет есть предельное расстояние контакта для цивилизаций единичного потенциала. Выражение для $r(q_A, q_B)$ получено в предположении, что прием и передача ведутся только с помощью остронаправленной антенны. В разделе 5 мы пытаемся пояснить, почему такое предположение не является произвольным. Для того, чтобы зарегистрировать сигнал от цивилизации B , находящейся на расстоянии r , нужно индивидуально изучить каждую подозрительную звезду на меньшем расстоянии. Предположим, что необходимые энергозатраты на мониторинг одной

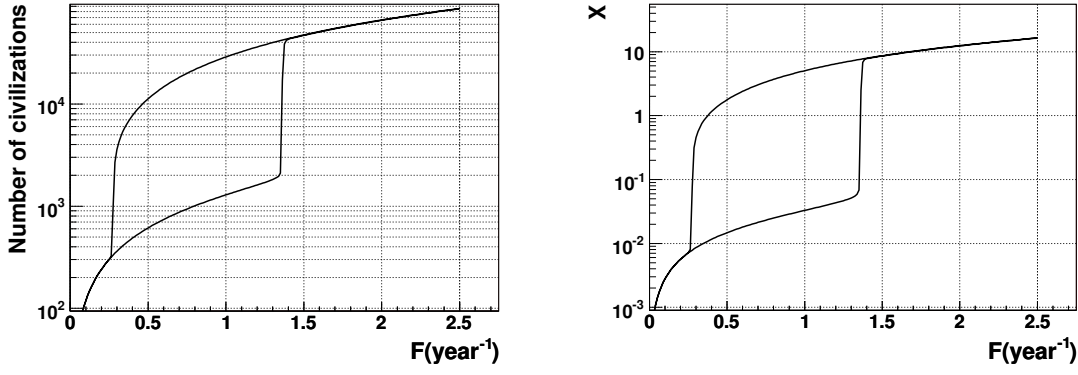


Рис. 14: Эффект бистабильности в популяции КЦ. Пояснения см. в тексте.

звезды пропорциональны квадрату расстояния до нее. Тогда суммарные энергозатраты на просмотр всех звезд ближе r будут пропорциональны r^5 . В предположении, что количество энергии, которое цивилизация A может затратить на поиски соседей, пропорционально q_A , получим, что предельное расстояние коммуникации будет зависеть от q_A как $q_A^{1/5}$. Аналогичные рассуждения показывают, что и от q_B расстояние зависит как $q_B^{1/5}$. Так получается формула (47).

Распределение $\phi_0(q)$ было выбрано в виде

$$\phi_0(q) = \frac{1}{\sigma\sqrt{\pi}} \exp \frac{(q_0 - q)^2}{2\sigma^2}, \quad q_0 = 1, \quad \sigma = 0.212. \quad (48)$$

При расчетах удобно следить за изменением величины насыщенности контактов X . Можно показать, что в веденной модели $X(T)$ дается выражением:

$$X(T) = \frac{\int dq \rho(q, T) \int dq' \rho(q', T) \frac{4\pi}{3} r^3(q, q')}{\int dq \rho(q, T)}. \quad (49)$$

4.4 Результаты расчетов в нелинейной модели

Начнем с результатов модельных расчетов, иллюстрирующих принципиально важный эффект бистабильности в популяции КЦ. Суть явления бистабильности заключается в том, что при одной и той же скорости рождения новых цивилизаций в популяции имеется два различных стабильных состояния — с низким числом цивилизаций и низким значением насыщенности контактов X и с большим количеством цивилизаций и величиной X больше или порядка 1. Явление бистабильности иллюстрирует рис. 14.

Поясним, как проводился расчет и что значат полученные результаты. Предполагалось, что в начальный момент времени в галактике цивилизации отсутствуют, после чего скорость рождения цивилизаций F начинает медленно линейно расти. Скорость роста бралась настолько медленной, чтобы в любой момент времени в популяции достигалось почти полное равновесие. На рис. 14 на левом графике показана

зависимость числа цивилизаций от F (число цивилизаций приведено к объему нашей Галактики), на правом графике — зависимость степени насыщенности контактов X от F . По мере роста F растет и равновесное количество цивилизаций вместе с насыщенностью контактов, при этом точка на графиках сначала движется по нижней ветке петли гистерезиса слева направо и насыщенность контактов остается много меньше единицы. Имеет место эра молчания.

Однако из-за роста числа контактов ситуация становится все менее стабильной, и когда F достигает величины примерно 1,35 цивилизаций в год, а $X \approx 0,05$, равновесие нарушается. Из-за положительной обратной связи контакт-время жизни число цивилизаций и вероятность контактов начинают расти лавинообразно, при этом число цивилизаций делает скачок вверх примерно на порядок, а насыщенность контактов примерно на два порядка, достигая значения 10. Скачок насыщенности контактов превышает скачок числа цивилизаций, так как в соответствии с моделью, под действием контакта растет не только время жизни, но и предельное расстояние коммуникации. Поэтому вероятность контакта растет не только за счет роста числа КЦ, но и за счет роста их «дальнобойности». Рост лавины обрывается из-за исчерпания возможности «обучения» при больших значениях потенциала q (см. рис. 13). Длительность перехода составляет несколько десятков L_0 .

При дальнейшем росте F количество КЦ и X продолжают расти, но уже плавно, без скачков. Наступила эра насыщения контактов.

Затем в расчете рост скорости рождения цивилизаций прекращается, и начинается медленное, равновесное ее снижение. Сначала точка на графике движется в обратном направлении, повторяя траекторию при росте F . Однако, при достижении критического значения F , при котором произошел прямой переход из эры молчания в эру насыщения контактов, обратный переход не происходит. Этому препятствует положительная обратная связь количество контактов-время жизни. Вместо резкого скачка вниз продолжается медленное снижение N_C и X . Эра насыщения контактов продолжается. Можно сказать, что имеет место «закалка» состояния насыщенности контактов. На этом участке графика каждому значению F отвечает два различных устойчивых состояния популяции цивилизаций: одно на нижней ветви петли гистерезиса, другое на верхней ветви. Это и есть бистабильность.

Только при достижении величиной X значения около 0,5 положительная обратная связь уже не может удержать фазу насыщения контактов от разрушения, и количество цивилизаций и X резко падают и снова наступает эра молчания.

Существенно, что обратный переход наступает при значении F много меньшем, чем прямой. Замечательно также, что прямой переход начинается при значении X много меньшем единицы, поэтому непосредственно накануне перехода подавляющему числу цивилизаций должно казаться, что они единственные обитатели Галактики. После перехода каждая КЦ (готовая потратить адекватные усилия на решение проблемы SETI) обеспечена несколькими партнерами по контакту.

Эффект бистабильности может быть крайне важным для судеб популяции КЦ нашей Галактики. Если переход в эру насыщения контактов когда-нибудь произойдет, то полученное состояние Галактики будет очень стабильным, и может быть разрушено только при катастрофическом падении скорости возникновения новых цивилизаций. Но галактическое сообщество сможет даже этому воспрепятствовать, если прибегнет к стратегии направленной панспермии.

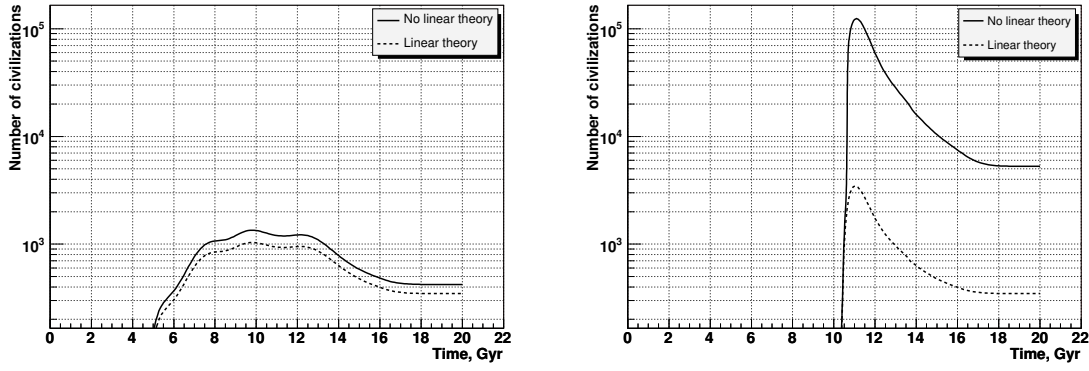


Рис. 15: Сравнение динамики популяции КЦ в линейной теории и в нелинейной теории, учитывающие взаимное влияния КЦ по каналам связи. Левый рисунок — условия возникновения жизни не зависят от галактического времени. Правый рисунок — возникновение жизни в самосогласованном фазовом переходе Галактики.

Ясно, что с точки зрения возможности перехода Галактики в состояние насыщения контактов критически важно, каково максимально достигаемое значение скорости возникновения новых цивилизаций. Здесь ситуация может оказаться радикально различной для сценариев постоянного происхождения жизни и происхождения жизни в фазовом переходе Галактики, так как в последнем случае имеет место сильный, хотя и не очень продолжительный, скачок скорости образования цивилизаций. Результаты некоторых расчетов, показывающих разные варианты динамики КЦ для нашей Галактики в присутствии нелинейных связей, показаны на рис. 15 и рис. 16.

Для получения этих результатов на вход программы, предназначенной для расчета динамики популяции КЦ в нелинейной теории (решение уравнения (43)), подавались результаты расчета скорости рождения цивилизаций (функция $f(T)$ в уравнении (43)), полученные с помощью линейной теории. Скорость рождения цивилизаций может быть легко получена непосредственно по рис. 12 с помощью формулы

$$N_C(T) = F(T)L_0.$$

На рис. 15 (левый график) видно, что при параметрах обратной связи, использованных в расчете, в сценарии с непрерывным рождением жизни переход в эру насыщения контактов не происходит, так как пиковое значение скорости рождения цивилизаций оказывается недостаточно большим. Нелинейный расчет дает лишь небольшое превышение числа цивилизаций над результатами линейного расчета. Из рис. 16 видно, что степень насыщенности контактов всегда остается много меньше единицы.

Напротив, из рис. 15 (правый график) видно, что скачок $f(T)$ в сценарии с рождением жизни в фазовом переходе оказывается достаточно высоким, чтобы переход в эру насыщения контактов произошел. Согласно результатам расчета, пиковое значение степени насыщенности контактов достигает 24,3.

После скачка $f(T)$ в сценарии с рождением жизни в фазовом переходе скорость рождения цивилизаций быстро падает, но установившаяся скорость остается в зоне

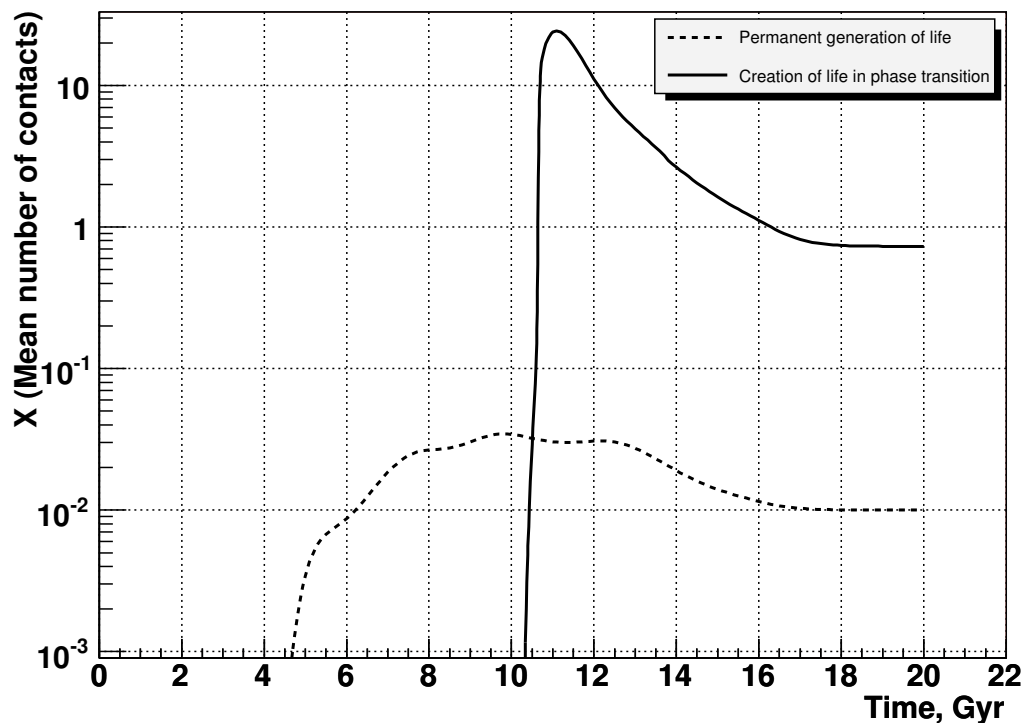


Рис. 16: Поведение степени насыщенности контактов в сценариях постоянного происхождения жизни и происхождения жизни в фазовом переходе Галактики. В последнем случае происходит переход в эру насыщения контактов, и после падения скорости возникновения цивилизаций состояние насыщения контактов сохраняется за счет эффекта «закалки» популяции КЦ.

бистабильности, поэтому состояние насыщения контактов не разрушается. Из рис. 16 видно, что в асимптотике X близко к единице, то есть почти каждая КЦ имеет по одному партнеру для контакта. В этой же ситуации величина X в сценарии с непрерывным рождением жизни очень мала. Это есть явление «закалки» фазы насыщения контактов благодаря положительной обратной связи.

4.5 Астросоциологический парадокс и эра насыщения контактов

Здесь хотелось бы сделать одно, как нам представляется, принципиально важное замечание по поводу астросоциологического парадокса (см. [34, Гл.6], [47]) — АСП. Под АСП понимается противоречие между широко распространенными представлениями о множественности КЦ и отсутствием явных проявлений их деятельности. Между тем, АСП может быть легко объяснен, если всего лишь предположить, что основным способом контактов между КЦ являются контакты по каналам связи с помощью остро направленных излучателей и приемников любой природы (как это и предполагалось в рассматриваемой здесь нелинейной теории). Покажем, что *даже*

в условиях эры насыщения контактов обнаружение партнера по контакту может быть исключительно сложной задачей.

Предположим, что время фазового демографического пика уже прошло, и в Галактике сохраняется фаза насыщения контактов за счет эффекта закалки, как это имеет место при больших временах в исследованной здесь модели. Как видно из рис. 15 (правый график), количество КЦ в Галактике в этом случае составляет около 5000. По рис. 5 находим, что ожидаемое расстояние до ближайшей КЦ составляет около 1000 св. лет, но с заметной вероятностью может оказаться и 2000 св. лет. Для того, чтобы с гарантией обнаружить партнера по контакту, нужно достаточно продолжительное время держать под постоянным мониторингом на всех разумных частотах и во всех физических типах каналов (радио, оптические, ...) все подозрительные звезды внутри сферы радиусом 2000 св. лет. Так как плотность звездного населения в окрестностях Солнца составляет около одной звезды на 8 кубических парсек, то такая сфера содержит порядка 10^8 звезд. Даже если считать, что лишь одна из 100 звезд является подозрительной, то это означает необходимость непрерывного мониторинга 10^6 звезд. Это задача, требующая колоссальных ресурсов. Нетрудно показать, что даже в максимуме фазового пика, когда в Галактике имеется 125000 КЦ, должен осуществляться мониторинг примерно $5 \cdot 10^4$ звезд. В настоящее время речь идет лишь об эпизодических наблюдениях в лучшем случае нескольких десятков звезд на немногих радиочастотах. Что же удивляться, что мы никого пока не видим? Что действительно требует объяснения, так это причина, по которой преобладающим типом связи является связь с помощью остронаправленных излучателей и приемников. Этому вопросу мы коснемся в разделе 5.

Как же может быть, что эра насыщения контактов все-таки устанавливается, если задача установления связи столь трудна? Наше мнение, которое мы обосновываем в разделе 5, состоит в том, что для нашей цивилизации просто еще не пришло время, когда контакт является насущной потребностью, и поэтому она не готова потратить огромные ресурсы на поиск партнера. Земная цивилизация в этом смысле *пока* не является коммуникативной, поэтому наш современный опыт нельзя распространять на другие КЦ.

Не следует относиться к представленным результатам нелинейных расчетов слишком серьезно. Очевидно, что использованные модели крайне примитивны, да и выбор параметров этих моделей субъективен. Основное назначение этих расчетов — продемонстрировать, какого рода механизмы могут управлять динамикой популяции цивилизаций в Галактике.

4.6 Пространственная неоднородность распределения КЦ и возможность подпорогового перехода в эру насыщения контактов

В заключение этого раздела обратим внимание на одно весьма слабое место представленной здесь нелинейной теории. В рассмотренной модели совершенно не учитываются флуктуации пространственной плотности КЦ, которые могут, в действительности, иметь очень большое значение. Предположим, что скорость рождения цивилизаций никогда не достигает критического значения, при котором происходит переход в эру насыщения контактов в нашей модели. Означает ли это реально, что

переход в эру насыщения никогда не произойдет? Нет, не означает. Благодаря флуктуациям плотности случайно может образоваться локальное скопление нескольких цивилизаций, которые окажутся в зоне досягаемости друг друга. Тогда фаза насыщения контактов может возникнуть сначала локально, в зоне скопления. Благодаря положительной обратной связи остров фазы насыщения контактов может оказаться не только стабильным, но из-за увеличения предельного расстояния контакта будет вовлекать в сферу своего влияния более удаленные цивилизации, благодаря чему начнет расти. Так он со временем может охватить всю Галактику. По своей сути это весьма напоминает механизм обычного фазового перехода второго рода, в котором роль флуктуаций общеизвестна. Большой интерес представляла бы количественная теория этого явления.

5 «Экзогуманитарные» цивилизации как потенциальные партнеры по межзвездной связи и возможные носители галактического культурного поля

5.1 Замечания о методике

Как отмечалось в разделе 1.5, ввиду крайней непродолжительности предсингулярного космотехнологического участка в развитии цивилизации, вероятность обнаружить такую цивилизацию в ходе решения проблемы SETI ничтожна. Да и опыт земной цивилизации показывает, что интенсивность космических передач цивилизации в этом состоянии невелика. Поэтому следует ожидать, что потенциальным партнером по контакту может оказаться лишь постсингулярная цивилизация. В связи с этим возникает ряд вопросов, которые уже упоминались выше в разных контекстах:

1. Что могут представлять собой постсингулярные цивилизации как потенциальные партнеры по SETI-контакту?
2. Почему можно предполагать, что контакт положительно сказывается на жизнеспособности КЦ?
3. Что лежит в основе предположения, что контакты осуществляются с помощью остронаправленных излучателей и приемников?
4. Что может заставить КЦ потратить большие усилия на поиск партнера по контакту и передачу космических сообщений, и можно ли ожидать, что земная цивилизация когда-нибудь будет готова к решению этой задачи?

Все эти вопросы удастся связать между собой через обсуждаемые в этом разделе статьи понятия «постсингулярного экзогуманизма», «галактического культурного поля» и «экзогуманитарной цивилизации». Прежде чем перейти к изложению, надо сделать несколько замечаний методического характера.

Во-первых, следует отметить, что в футурологических прогнозах мы будем старательно избегать произвольных гипотез, и будем основываться лишь на анализе некоторых тенденций, которые совершенно ясно видны в динамике человеческой цивилизации уже сейчас.

Второе замечание касается характера распространения футурологических прогнозов для Земли на другие КЦ. Из гипотезы универсальности масштабно-инвариантного характера эволюции следует также универсальность явления сингулярности эволюции (раздел 1.5). Явление сингулярности эволюции трудно интерпретировать иначе, чем технологический взрыв. Поэтому для других цивилизаций в значительной степени универсальным должен быть и характер преодоления этой критической точки. Следовательно предположение, что опыт человечества по преодолению сингулярности в какой-то форме можно перенести и на другие КЦ, является следствием гипотезы универсальности масштабно-инвариантного характера эволюции. В таком контексте это предположение не является формой «земного шовинизма».

В-третьих, без специальных оговорок некоторые предполагаемые черты постсингулярной цивилизации будут рассматриваться как существенные системообразующие факторы, в то время как на самом деле они, быть может, будут проявляться лишь в виде более или менее определенных тенденций. Эти черты удобнее рассмотреть в несколько идеализированном виде, чтобы не перегружать изложение лишними деталями.

5.2 «Экзогуманизм» постсингулярной цивилизации

Начнем с замечания по поводу того, как далее будут использоваться такие понятия, как «гуманизм» и «этика». Человек — существо, лишённое естественных мощных орудий нападения — когтей, клыков и т. д. Поэтому, в отличие от, например, льва, у него нет биологических сдерживающих факторов против проявления агрессии к себе подобным. Когда человек впервые взял в руку каменное орудие, став обладателем первой технологии, ничто не мешало ему покалечить или даже убить своих ближайших родственников. Возможно, во многих случаях так и было, но особо агрессивные популяции *Ното* именно по этой причине не оставили потомство. Дали потомство менее агрессивные популяции, и представление, что убивать родичей нехорошо, закрепилось сначала генетически, а потом и в культуре. По мере роста технологии культурные сдержки агрессии совершенствовались. Гуманизм и этика отнюдь не являются априорными, данными людям «от века» представлениями, но являются сохраняющимися реакциями против разрушительного действия технологии, выработанными эволюцией *Ното* в ходе естественного отбора. Такое представление детально обосновано в книге А. П. Назаретяна [6], похожие идеи содержатся в статье Умберто Эко [48] и работах других авторов. Однако, не только гуманизм и этика в собственном смысле этих слов являются сдерживающими факторами проявления агрессии, хотя их роль очень велика. Не следует забывать об уголовном законодательстве и соответствующей системе наказаний и других мерах принудительного или даже репрессивного характера. Далее термин «гуманизм» будет трактоваться расширительно, он будет включать в себя любые формы сдержек разрушительной силы технологий. При этом надо также иметь в виду, что разрушительное действие технологий может быть связано не только с неконтролируемым проявлением агрессии, но и с загрязнением окружающей среды и т. д. Такое использование термина «гуманизм» вызвано отсутствием общепринятого понятия, которое обозначало бы все культурные сдерживающие факторы разрушительной силы технологии, в любых проявлениях.

Ясно, что проход сингулярности масштабно-инвариантного исторического аттрактора (см. раздел 1) означает преодоление целого ряда глубочайших кризисов техногенного происхождения. Для успешного их преодоления постсингулярная цивилизация должна выработать соответствующие адаптационные механизмы, и в дальнейшем использовать их для поддержания своего гомеостаза. Если цивилизация не вырабатывает такие механизмы, ей не суждено вступить в постсингулярную стадию развития — она деградирует или гибнет. Нетрудно представить себе по крайней мере некоторые из таких сохраняющих реакций.

Во-первых, должны быть выработаны очень эффективные механизмы сдерживания агрессии, в противном случае цивилизация самоуничтожится в результате внутренних конфликтов, связанных с нарастающим дефицитом невозполнимых ресурсов, и одновременным ростом убойной силы оружия. Во-вторых, должны быть реализованы мощные механизмы сдерживания материального потребления и эффективного использования ресурсов. Во-третьих, цивилизация должна внутри себя преодолеть явления типа корпоративного или государственного эгоизма и выработать планетарное мышление, так как кризисные процессы вблизи сингулярности имеют существенно планетарный масштаб и могут быть преодолены только совместными усилиями всех при непрерывном достижении компромиссов. Четвертым типом сохраняющей реакции должен быть рост экологического сознания вплоть до превращения его в экологический социальный инстинкт.

Кризисы сингулярности не могут быть преодолены без гигантского скачка силы и глубины этих механизмов сдерживания разрушительной силы технологии. Специфический скачок культурных сдерживающих факторов при преодолении сингулярности исторического аттрактора можно назвать *постсингулярной гуманизацией* цивилизации. Рискую повториться, подчеркнем, что не следует такую «гуманизацию» понимать упрощенно или слишком буквально. Это могут быть принимаемые большинством этические принципы, то есть гуманизм в классическом понимании, однако частично «гуманизация» может быть реализована, например, в виде системы жестких репрессивных мер законодательного характера. Речь идет о любой системе сдержек техногенного деструктивного фактора, не разрушающей цивилизацию как космотехнологическую. Это соответствует расширительной трактовке термина «гуманизм», как об этом говорилось выше.

Предположение о том, что выработка таких сдерживающих механизмов возможна, не является произвольным. А. П. Назаретян, основываясь на обширном фактическом материале, показал [6, 49], что уровень культурных сдержек агрессии рос на протяжении всей истории и предыстории человечества вместе с ростом технологической мощи. Более того, он рос опережающими темпами, так что, например, несмотря на рост убойной силы оружия, уровень кровопролития (в расчете на душу населения!) не только не рос, но даже постепенно снижался. Этот *парадоксальный* вывод суммирован Назаретяном в «законе техно-гуманитарного баланса» [6, 49].

Недавними примерами являются выметание особо бесчеловечных режимов (вроде режимов Сталина, Гитлера, Мао Цзе-Дуна, Пол Пота) из истории и замещение их более гуманистическими системами, реализующими более щадящие и изощренные методы манипулирования массами. Другим недавним примером роста уровня техно-гуманитарного баланса является Киотское соглашение, которое представляет собой признак пробуждения планетарного мышления. Можно привести множество приме-

ров формирования экологического сознания. Однако огромной проблемой остается модель «общества потребления», для которого пока не нашлось разумной альтернативы.

Мысль о том, что некоторая развитая форма гуманизма должна быть характерна для высокоразвитых КЦ, конечно, не нова. Она высказывалась К. Э. Циолковским и И. А. Ефремовым; эта мысль ясно высказана в недавних статьях Л. М. Гиндилиса [50, 51] и в книге А. П. Назаретяна [6].

Теперь остановимся на одной особенности процесса гуманизации, которая важна для дальнейшего. Любопытно, что уже сейчас гуманизация земной цивилизации находит непосредственное выражение в отношении к космосу.

Достаточно распространенной точкой зрения является то, что едва человечество доберется до других планет, как оно попытается поскорее расправиться с местными формами жизни и переделать все под себя, как это делалось, например, в истории колонизации Америки. Такое представление легко найти на интернет-сайтах, посвященных проблемам внеземного разума. Однако это есть выражение некоторого достаточно поверхностного обыденного сознания, вроде представления о «постоянном падении нравов». Факты говорят об обратном. Вот некоторые примеры.

Если на Марсе и есть жизнь, то ясно, что в самых примитивных формах. Кажется бы, по праву сильного мы должны думать только о собственной безопасности, и в случае малейших сомнений просто уничтожить ее. В действительности же, уже начиная с самых первых марсианских программ, все посылаемые на Марс аппараты тщательнейшим образом стерилизуются, чтобы не дай бог, марсианской жизни не навредить. Другим примером является уничтожение космической станции Галилео в атмосфере Юпитера, чтобы случайно не занести земные микроорганизмы на спутник Юпитера — Европу, где также возможно существование жизни.

Очень показательна полемика по поводу допустимости эксперимента «Deep Impact», имевшего целью бомбардировку кометы Tempel-1 для изучения химического состава кометного вещества. Мнения разделились, причем многие профессиональные астрономы и астрофизики считали, что такие «варварские» методы исследований недопустимы. Апофеозом дискуссии явился иск москвички Марины Бай в Пресненский суд Москвы к агентству НАСА о возмещении морального ущерба, нанесенного ей этим экспериментом, с формулировкой: «Действия агентства посягают на систему духовных и жизненных ценностей, а также природную жизнь космоса, что нарушает баланс естественных сил во Вселенной». Иск был принят к рассмотрению. Налицо перенесение этических норм и экологического мышления на космическую деятельность. Все это можно было бы рассматривать как забавный курьез, если бы не позиция многих профессионалов, и то, что происшедшее глубоко закономерно. Любая масштабная астроинженерная деятельность, включающая преобразование тел солнечной системы, уже сейчас вызвала бы ожесточенное сопротивление широких слоев общества. Можно предположить, что создание гигантских астроинженерных сооружений вроде сферы Дайсона вполне может оказаться невозможным не по техническим, а по этическим причинам.

Примеры показывают, что постсингулярный гуманизм вряд ли может существовать только «для внутреннего пользования» цивилизации. Эти качества должны проявляться и в отношениях с космосом, в чем бы эти отношения не выражались: космическая инженерия, контакт с неразумными или разумными формами жизни на

других планетах и т. д. Совершенная высокогуманистическая система внутри себя, не может быть примитивно-агрессивной во внешних проявлениях. Таким образом, следует ожидать, что цивилизация, преодолевшая сингулярность, должна быть не просто гуманистической, но экзогуманистической, гуманистической в космическом смысле. *Экзогуманизм — система сдержек техногенного разрушительного фактора планетарного уровня, имеющая продолжение в космической деятельности.*

Следует особо подчеркнуть, что неизвестно, является ли процесс гуманизации земной цивилизации достаточно быстрым и глубоким для преодоления кризиса сингулярности. Утверждение, которое делается, имеет условный характер: *если* постсингулярные космотехнологические цивилизации существуют, *то* процесс их гуманизации в период преодоления сингулярности должен был быть достаточно быстрым и глубоким, и поэтому они должны быть экзогуманистическими.

5.3 Космическая экспансия и интенсивный путь развития

Распространенная точка зрения, что проблему экстенсивного технологического взрыва и исчерпания невозполнимых ресурсов можно преодолеть за счет продолжения его в космос, скорее всего совершенно неосновательна.

Одной из основных причин является то, что времени на подготовку очень масштабного выхода в космос в течение нескольких десятилетий досингулярного технологического развития, видимо, принципиально не хватает [52]. За это короткое время просто физически невозможно аккумулировать ресурсы, достаточные для организации экологически безопасного и дешевого, но достаточно интенсивного грузопотока на околоземную орбиту, что необходимо для дальнейшего продвижения в космос.

Другой независимой причиной ограничения масштабной астроинженерной деятельности могут быть ограничения космо-этического или космо-экологического характера, связанные с экзогуманизмом постсингулярной цивилизации. Как мы видели, эти факторы уже сейчас дают себя знать, даже при всей скромности решаемых ныне в космосе задач.

Еще одним известным аргументом против чисто экстенсивного броска в космос является то, что при любой разумной постоянной времени экстенсивного роста цивилизации, даже галактических ресурсов не хватит уже через несколько тысяч лет такой экспансии [53, 52]. Игра не стоит свеч, как написал по этому поводу Г. М. Идлис [53]. Хотя, по нашему мнению, соображения такого типа вряд ли могут повлиять на практическую политику в области освоения космоса в обозримом будущем.

Как бы то ни было, резкое торможение темпов освоения космического пространства земной цивилизацией уже имеет место — в этом не приходится сомневаться. Прогнозы 70-х годов 20-го века по развитию космической техники и освоению космического пространства на период до 2000 года оказались чрезвычайно завышенными, и намеченные планы остались нереализованными. Вот только некоторые примеры. В 1974 г. известный специалист К. Эрике, занятый в космической программе США, заявлял, что после 1985 г. будет введена в строй орбитальная космическая станция на 25-100 человек [54, С.37]. 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. И даже проекты космических

поселений О'Нейла, которые предлагалось начать реализовывать в 1988 году [55], не казались чем-то совершенно фантастическим. Ожидания были основаны на линейной экстраполяции темпов освоения космоса 50-х-70-х годов, и потому оказались несостоятельными.

Так или иначе, на какое-то, возможно весьма длительное, время после преодоления сингулярности истории цивилизация должна обеспечить себе стабильное существование без надежды на скорую космическую экспансию. Это должна быть какая-то форма *интенсивного развития* с преимущественной опорой на внутренние планетарные ресурсы. Если масштабная космическая экспансия и возможна хотя бы в принципе, то она не может быть прямым продолжением технологического взрыва сингулярности. Должно пройти значительное время в постсингулярной интенсивной фазе, прежде чем будут аккумулированы необходимые ресурсы. Так как о возможностях космической экспансии в далекой постсингулярной стадии трудно делать определенные прогнозы, а переход в интенсивную стадию развития уже становится реальностью, то сосредоточимся на особенностях поведения КЦ в интенсивной стадии развития.

Из представлений о длительной интенсивной фазе развития сразу следует модель SETI-контактов. Так как энергетические ресурсы КЦ в таком состоянии очень ограничены, то передатчики сигналов могут быть только остронаправленными, какой бы физический носитель сигнала ни использовался. Приемники, скорее всего, тоже должны быть остронаправленными и ориентированы на мониторинг индивидуальных звезд. Простые оценки показывают, что мощные всенаправленные постоянно действующие излучатели исключаются уже по чисто энергетическим соображениям. Вполне возможно, что они противоречили бы также этическим или экологическим императивам экзогуманизма (нарушая целостность космической среды).

5.4 Информационный кризис

Проблема «конца науки» заслуживает отдельной большой статьи, если не книги. Здесь этот круг вопросов является лишь одним из логических шагов в проводимом анализе, поэтому будет рассмотрен, по необходимости, без исчерпывающей полноты.

Для дальнейшего уточним, что ниже будет пониматься под наукой, так как под этим именем нередко понимают совершенно разные вещи. Существует несколько методов познания: философское познание, религиозное познание и т. д. Наука есть один из способов реализации функции познания. Научная истина не есть синоним истины вообще. От других методов познания наука отличается тем, что приводит к результатам, обладающим свойством воспроизводимости во вполне определенном смысле. В науке фиксированы два основных классических метода верификации результатов, приводящих к понятию воспроизводимости: воспроизводимый опыт (в естественных науках) и дедукция или вычисление (в математических науках). Дедукция является также методом проведения воспроизводимых рассуждений в естественных науках. Методологию, основанную на комбинированном использовании воспроизводимого опыта и дедукции, будем называть *классическим научным методом*; наука по принимаемому здесь определению есть метод познания с помощью классического научного метода.

В состоянии бурного (экспоненциального) роста в период технологического взры-

ва находятся не только аддитивные показатели развития цивилизации вроде потребления ресурсов и энергии, но также наука, причем время удвоения (вычисленное по разным показателям) составляет всего 10–15 лет [53, 56]. Имеющие место темпы роста науки не могут сохраняться ни бесконечно, ни даже просто долго, это следует из элементарной арифметики.

Очень жестко на скором «насыщении» научного метода настаивает Станислав Лем в своей известной книге «Сумма технологии» [56]. По-видимому, Лем был одним из первых, кто серьезно писал на эту тему, причем усматривая в этом причину предстоящего цивилизационного кризиса, который потребует специальных мер для его преодоления. Он называл его *информационным кризисом*, и здесь будет использована эта терминология. В 1963 году, когда была написана книга, Лем отводил экспоненциальному росту науки 30–70 лет, т. е. окончание экспоненциального режима роста падает на 1990–2030 годы. Лем писал: «Таким образом, если нынешний темп научного роста сохранится, то через какие-нибудь 50 лет каждый житель Земли будет ученым.» Этот прогноз относится, очевидно, приблизительно к 2010 году и, как нетрудно видеть, сильно переоценивает реальное число ученых. Это означает, что по крайней мере скорость роста числа ученых уже сильно упала. Похоже, что прогнозы Лема сбываются.

Проблема «конца науки» продолжает волновать умы. В настоящее время существует довольно обширная литература, посвященная этой проблеме. Мы не имеем возможности дать здесь сколько-нибудь подробный обзор, сошлемся лишь для примера на монографию [57] и статью [58].

С нашей точки зрения особенно важен взгляд на науку как на явление эволюции. Такой подход позволяет не только яснее понять суть кризиса, действительно нарастающего в науке и в связи с наукой, но и представить возможные пути его преодоления.

Научный метод возник как закономерный продукт эволюции цивилизации на определенном этапе ее развития и решал важные цивилизационные проблемы. Когда Эйнштейна спросили, почему возник научный метод, он ответил: «Никто не чешется, если у него не зудит». На примере научного метода прослеживаются основные закономерности эволюции, проходящей через последовательность кризисов и фазовых переходов биосферы и общества. Впервые элементы научного метода появились еще в древнем мире, но на этом этапе не являлись ведущим фактором развития цивилизации, то есть существовали в форме избыточного разнообразия. Ведущими формами познания на этом этапе были философское и религиозное познание, познание в форме искусства. Затем научный метод сыграл важную роль в преодолении аграрного кризиса позднего средневековья, стал одним из ведущих факторов первой промышленной революции и последующего развития цивилизации. Был восстановлен обычный механизм использования фактора избыточного разнообразия в преодолении эволюционного кризиса (см. раздел 1.1).

Однако, все самые эффективные эволюционные решения рано или поздно себя исчерпывают, и эффективность классического научного метода вряд ли является исключением, как ни тяжело это сознавать. Это вовсе не означает, что наука исчезнет. Старые эволюционные формы не исчезают полностью при появлении новых (см. раздел 1.1). Они сохраняются в редуцированной форме, уступая лидерство более прогрессивным продуктам эволюции, эволюция имеет аддитивный характер. Нечто

подобное должно произойти когда-то и с классическим научным методом. Следует ожидать, что он утратит свою ведущую роль в развитии цивилизации и будет потеснен другими формами культурной деятельности. В противном случае мы бы имели «дурную бесконечность» — будущее как бесконечное повторение настоящего в других масштабах. Эволюционная точка зрения говорит о том, что «конец науки» совсем необязательно есть конец познания вообще, и, тем более, не есть конец всего. Выход может быть найден в принципиально новых формах познания или в каких-то совсем иных видах культурной деятельности, даже не являющихся познанием в нашем современном понимании. Ведь нечто подобное уже случалось: из нерасчлененного первобытного сознания выделилась мифология, которая затем была потеснена философией природы, религией и т. д.

По поводу использования эволюционных соображений в оценках будущего науки важно сделать одно замечание. Такой подход является явным использованием индукции. Надо четко понимать, что индукция может быть методом построения гипотез, но не может быть доказательством чего-либо. Когда дело касается отдаленного будущего, нужно соблюдать особенную осторожность, так как происходит экстраполяция некоторых особенностей эволюции с масштабно-инвариантного досингулярного участка эволюции на постсингулярный участок, где характер эволюции в чем-то может оказаться существенно иным.

Помимо общих эволюционных соображений, важно иметь представление о конкретных причинах, которые могут привести к «насыщению» научного метода. Это позволит составить представление о динамике процессов и хотя бы грубо судить о временных масштабах явлений. Можно выделить по крайней мере три основные группы причин.

Во-первых, рано или поздно наука должна столкнуться с принципиальными ограничениями по уровню используемых ресурсов, о чем писал, в частности, Г. М. Идлис [53]. Эти тенденции уже сейчас имеют место, достаточно вспомнить замороженное строительство сверхпроводящего суперколлайдера (ССК) в США (1993 г.), урезанные космические программы и т. д.

Вариантом ограничения ресурсов является ограничение по количеству ученых, на которое обращает внимание Лем, и которое он считает основной причиной информационного кризиса. Его аргументация состоит в следующем. Количество научных задач растет экспоненциально, так как каждая решенная задача порождает несколько новых, но количество ученых не может расти столь же быстро. Поэтому ученых перестает хватать на решение всех актуальных задач, что ведет к «разрыву фронта науки», наука утрачивает целостность и динамизм [56, Гл. 4].

Дело, конечно, не только в людских ресурсах. В перспективе любые затраты на науку *в лучшем случае* можно будет стабилизировать на постоянном уровне, как и объем любых других материальных затрат — учитывая интенсивный характер развития постсингулярной цивилизации¹⁰. Это, видимо, должно означать сначала стабилизацию, а затем и постепенное уменьшение потока *новых* научных результатов, так как стоимость каждой новой решенной научной задачи, несмотря на совершенствование научных методов (компьютерное моделирование и обработка данных и т. д.), растет из-за увеличения сложности решаемых проблем. Действительно, об

¹⁰Заметим, что в условиях экстенсивного роста цивилизации за счет космической экспансии это было бы не так.

этом говорят простые наблюдения. Редкое исследование сейчас проводится ученым-одиночкой, как это было еще лет 70–80 назад. В основном это научные коллективы, причем часто — огромные коллективы, эксплуатирующие гигантские и очень дорогие экспериментальные установки. Многие современные научные задачи могут быть решены только силами международных коллабораций, и не видно, почему бы эта тенденция могла измениться. Потенциальное снижение потока научной информации (точнее — открытий) создает опасную ситуацию. Это может снизить интерес общества к науке¹¹, что приведет к снижению затрат на исследования и дальнейшему уменьшению потока новых результатов, что снова снижает интерес и т. д. — петля положительной обратной связи замыкается. Научные исследования, в первую очередь — фундаментальные, сворачиваются. Чем дальше та или иная область исследований от приложений, тем сильнее она будет страдать от этих процессов. Наблюдения, к сожалению, подтверждают это предположение. Самой фундаментальной областью науки является физика элементарных частиц, и именно здесь процессы торможения из-за ограничения по ресурсам наиболее заметны (вспомним прекращение финансирования ССК, которое оборвало прогресс в этой области науки уже более чем на десять лет).

Если по предложению Лема [56] сравнить науку с информационным каналом, соединяющим человечество и природу, то пропускная способность этого канала сначала экспоненциально растет, затем на какое-то время стабилизируется, после чего может начать уменьшаться, причем на этом этапе возникает опасность лавинообразного схлопывания пропускной способности из-за влияния положительной обратной связи. Это последнее явление особенно опасно, так как коллапс может наступить настолько быстро, что участники событий даже не успеют понять, что происходит.

Вторая группа причин. Сейчас ясно, что наука может встретиться с этическими ограничениями, имеющими фундаментальный характер. В постсингулярной стадии это может быть также связано с явлением постсингулярной гуманизации: в число стабилизирующих факторов могут попасть запреты на некоторые виды научной деятельности. Из примеров недавней истории можно вспомнить сильнейшее противодействие экспериментам по клонированию человека, или уже проявляющие себя космо-этические ограничения, упоминавшиеся в разделе 5.3. Сюда же примыкают разного рода фобии: фобия генетически-модифицированных продуктов — тормозит генетические исследования, радиофобия — тормозит развитие ядерной энергетики, весьма распространена общая наукофобия, в рамках которой вся наука представляется как абсолютное зло.

Называется также третья группа причин, которая заключается в том, что на фундаментальном уровне сложность природы может оказаться в каком-то смысле конечной, и поэтому природа может быть просто «исчерпана» для познания. Об этом в связи с проблемой SETI писали Л. В. Лесков [59], В. М. Липунов [60] и другие. Завершенность фундаментальной физики, конечно, не отменяет возможность исследования явлений на высших, системных, уровнях, но это сильно ограничивает возможность научных прорывов, на которых, собственно, и держится интерес общества к науке.

Заметим, что, по нашему мнению, пока нет серьезных оснований считать тре-

¹¹Что, кажется, уже наблюдается. Вспомним, например, в какое время суток транслировалась передача Гордона и транслируется «Очевидное-невероятное».

тью группу причин чем-то реальным — она себя никак не проявляет. Однако вполне реальным является психологический фактор, связанный с этой группой. Ожидание конца фундаментальной физики (пусть и на основе ложных посылок) может породить пессимизм, который через обратные связи сказывается на устойчивости науки в целом.

Мы еще не упомянули распространение псевдонауки с ее резко негативным отношением к нормальной науке, и некоторые другие факторы, которые нам представляются менее важными. Таким образом, имеется не одна, а целый ряд взаимодействующих причин, которые могут тормозить развитие науки. Поэтому информационный кризис является, в значительной степени, *системным кризисом науки*. По-видимому, постсингулярная цивилизация рано или поздно должна столкнуться с этим явлением.

Среди названных причин наиболее важной, как нам представляется, является первая группа, а вторая группа причин со временем может набирать силу.

Подчеркнем, что вовсе не имеется в виду, что нынешнее состояние научных исследований предвещает близкий конец науки. Речь идет о том, что снижение эффективности классического научного метода когда-нибудь должно произойти, и земная цивилизация находится, видимо, вблизи первой фазы кризиса (стабилизация количественных показателей науки и первые признаки ресурсных ограничений). Однако разворачивающиеся процессы столь динамичны, что вряд ли классическому научному методу как лидеру познания отведены столетия. Скорее, речь идет о нескольких десятилетиях. Это и есть то время, которым мы располагаем для решения проблемы.

Представляет ли информационный кризис опасность для цивилизации? Положительный ответ почти очевиден, но требуются некоторые оговорки.

Если функция познания разума прерывается, то конец цивилизации неизбежен [60]. Хотя доказательств этого положения нет, выглядит оно достаточно правдоподобно, поэтому примем его в качестве гипотезы¹². Однако наука — хотя и лидирующий в настоящее время, но, как упоминалось выше, не единственный способ познания. Информационный кризис означает частичное перекрытие лишь одного из каналов реализации функции познания. Может ли цивилизация избежать кризиса, сделав лидирующим один из других существующих видов познания? Маловероятно. Каждый из упомянутых выше методов старше науки и уже побывал когда-то в лидерах, а эволюция не входит дважды в одну реку. Похоже, информационный кризис неизбежно ведет к общему кризису цивилизации. Конкретный механизм его протекания может иметь отношение к связи науки с технологиями, но легко также себе представить, что кризис науки приведет к тяжелому общекультурному кризису. Может возникнуть общепланетарная «тоска по чему-то новому» либо всеобщее равнодушие и ощущение тупика. Впрочем, для общекультурного кризиса могут найтись и другие причины.

Кризис может быть преодолен, если найдется новый метод, который сможет выполнять роль лидера в реализации функции познания вместо классического научного метода. Новый метод может быть связан с существенной модификацией понятия воспроизводимости или истинности, могут быть качественно новые каналы получения информации или ее типы и т. д. Методика поиска возможных каналов будущего

¹²Возможность, что познание может быть заменено какой-то совершенно иной формой культурной деятельности, нельзя исключить.

развития может быть основана на анализе факторов избыточного многообразия, имеющих место уже сейчас — об этом говорит эволюционный подход к пониманию природы информационного кризиса. На этой основе можно представить целый ряд различных сценариев. Вполне возможно, что информационный кризис является точкой полифуркации, из которой возможны разные варианты выхода.

Мы не будем пытаться здесь дать обзор и анализ всех принципиальных возможностей преодоления информационного кризиса (которых можно назвать достаточно много), так как надеемся вернуться к этому вопросу в другой работе. Но важно, что одна из возможностей замещения научного метода связана с решением проблемы SETI, и этот вариант будет подробно обсуждаться в следующем разделе вместе с другими особенностями постсингулярных цивилизаций. Нетрудно видеть, что это соответствует идее искать сценарии преодоления информационного кризиса среди факторов избыточного многообразия: работа по проблеме SETI хотя и является одной из форм культурной деятельности человечества, но не играет пока существенной системообразующей роли.

В заключение обсуждения информационного кризиса сделаем одно важное замечание. Из того, что системный кризис науки в более или менее отдаленном будущем неизбежен, вовсе не следует, что уже сейчас можно забыть о поддержке науки. Напротив, наука должна поддерживаться настолько полно, насколько это возможно. Так как наиболее опасным фактором для развития науки является, видимо, ограничение по материальным ресурсам, то именно нарастающая материальная поддержка науки, и, прежде всего — фундаментальных ее направлений, может отдалить наступление информационного кризиса и дать время для подготовки к его преодолению. Если времени не хватит, последствия могут быть трагическими.

5.5 Коммуникативность постсингулярных цивилизаций

Выше было показано, что цивилизации в постсингулярной фазе развития, вероятно, придется столкнуться с двумя проблемами: ограничением возможности космической экспансии и информационным кризисом. Первая проблема, помимо того, что выводит цивилизацию на интенсивный путь развития, может вызвать серьезный внутренний дискомфорт, так как заставляет почувствовать себя запертой как в скорлупе в своей звездной системе или даже на планете. Вторая проблема может стать причиной опасной дестабилизации системы. Основываясь на проведенном выше анализе, попытаемся представить себе поведение цивилизации в этой ситуации.

Цивилизация, достигшая состояния, близкого к информационному кризису, должна понимать, что для сохранения гомеостазиса нужно получить доступ к новому источнику знаний, альтернативному классическому научному методу. Если эту задачу не удастся решить каким-то другим способом, то таким источником могла бы стать информация от других цивилизаций в том случае, если она будет достаточно богатой и связанной с возможно большим числом корреспондентов¹³. Более того, в обстановке кризиса обнаружение хотя бы одной внеземной цивилизации может дать мощную моральную поддержку для его преодоления, так как продемонстрирует, что перед цивилизацией имеется перспектива дальнейшего прогресса. Одновременно это

¹³О том, что контакт с другими цивилизациями может быть использован для преодоления кризиса познания, писал Н. С. Кардашёв [61, С.41].

решало бы и проблему «комплекса скорлупы»: реальная космическая экспансия заменяется виртуальной, информационной, но комплекс, по крайней мере частично, снимается. Забегая вперед (см. следующий раздел) отметим, что космические передачи, возможно, содержат информацию об историческом пути миллионов других цивилизаций, которая может быть использована для оптимизации пути собственного развития. Поэтому SETI-контакт может радикально увеличить устойчивость цивилизации.

Однако такая информация может быть получена, только если другие цивилизации ведут космические передачи. Таким образом, передача в космос является действием, жизненно важным для других цивилизаций. Постсингулярная цивилизация, будучи экзогуманистической, не может отказаться от выполнения действий, жизненно важных для других цивилизаций. Это есть не что иное, как перенос модели преодоления корпоративного эгоизма, которой должна владеть цивилизация (см. раздел 5.2), в космос. Тенденция переноса земных этических принципов на отношение к космосу — это факт, имеющий место уже сейчас. Высокоразвитые цивилизации не должны жалеть сил на передачи в космос, причем стараться включить в передачи как можно больше информации. Таким образом, следует ожидать, что передача в космос должна быть обычной практикой для постсингулярных экзогуманистических цивилизаций. Это возможный ответ на вопрос, поставленный Викторием Шварцманом [62]: Целью межзвездных передач не может быть получение новых знаний, следовательно эта деятельность не принадлежит науке. Но что тогда может быть целью передач?

Цивилизации должны стремиться не только вести передачи в космос, но и сделать их как можно более информативными. Простейший способ этого добиться — передавать не только информацию «от себя», но и по возможности ретранслировать все сообщения, полученные от других КЦ. Экзогуманистическая цивилизация должна также подумать о том, чтобы информация о цивилизациях, которых может быть уже нет, и знаниями о которых она владеет, сохранилась после ее собственного конца. Это напоминает современное отношение к памятникам старины. Один из способов сохранить культуру ушедших цивилизаций состоит в том, чтобы ретранслировать полученную информацию, чтобы она была потом снова ретранслирована, и так далее.

Таким образом, в одну из возможных моделей поведения постсингулярной цивилизации на стадии системного кризиса науки и после него входит активная передача собственных сообщений в космос и ретрансляция всего, что ей удастся самой получить. Опираясь на похожую модель, любая цивилизация, еще не нашедшая партнера по контакту и *находящаяся в стадии информационного кризиса*, должна быть готова потратить любые усилия на решение проблемы SETI, так как, с одной стороны, получение нового источника знаний становится жизненно необходимым, с другой стороны — есть надежда его найти. Только в этом состоянии цивилизация становится *коммуникативной в сильном смысле*. По нашему мнению, не следует ожидать готовности цивилизации потратить значительные ресурсы на решение проблемы SETI раньше, чем информационный кризис станет очевидностью для большинства. Исторический опыт показывает, что важные цивилизационные проблемы решаются исключительно по принципу «гром не грянет — мужик не перекрестится». Очевидно, земная цивилизация еще далеко не достигла коммуникативной в сильном

смысле фазы, но это время может наступить вместе с признаками информационного кризиса.

Означает ли это, что сейчас заниматься проблемой SETI не имеет смысла? Ни в коем случае. К тому моменту, когда контакт будет востребован по-настоящему, должна быть готова теоретическая база и методики поиска КЦ и связи с ними. Чрезвычайно важна база данных по экзопланетам земного типа для возможно большего числа звезд. Но ничего этого не будет, если не заниматься этим уже сейчас. Как уже отмечалось, работа по проблеме SETI может быть тем фактором избыточного многообразия в настоящем, который может сыграть ключевую роль при преодолении информационного кризиса будущего.

5.6 Галактическое культурное поле и характер информации космических передач

В разделе 4 мы показали, что при существовании положительного влияния контактов по каналам связи на стабильность цивилизаций и их «дальнобойность» при приеме и передаче информации, в Галактике возможен фазовый переход из состояния, когда вероятность найти партнера по контакту много меньше единицы (эра молчания), в эру насыщения контактов, когда практически каждая КЦ, готовая потратить адекватные усилия на поиски партнера, может его найти. Более того, полученное состояние Галактики очень стабильно. Возможность преодолеть информационный кризис за счет изучения космических передач и означает такое положительное влияние. Поэтому ожидаемые свойства постсингулярных цивилизаций создают явные предпосылки для перехода Галактики из эры молчания в эру насыщения контактов. В этом состоянии популяция КЦ Галактики обладает весьма примечательными свойствами.

В эре насыщения контактов передачи, посылаемые цивилизацией в космос на протяжении коммуникативной фазы развития, будут хотя бы когда-нибудь приняты и ретранслированы хотя бы одной другой цивилизацией с вероятностью, близкой к единице. Поэтому информация о цивилизациях, завершивших коммуникативную фазу, не исчезает, но может сохраняться неопределенно долго, передаваясь от одной цивилизации к другой. После установления состояния насыщения контактов количество информации в Галактике начинает стремительно расти, и вся Галактика превращается в единое культурное поле. Подчеркнем, что существование культурного поля вовсе не предполагает двусторонних связей между цивилизациями.

По мере накопления информации в культурном поле каждая КЦ, исходя из императива экзогуманизма, вынуждена перерабатывать и ретранслировать все больше и больше информации. В какой-то момент информационные потоки должны стать столь насыщенными, что всю информацию ретранслировать будет невозможно. КЦ должны будут начать селекцию наиболее ценного с их точки зрения, и это положит начало процессу естественного отбора информации в культурном поле. В свою очередь, изменяющийся характер информации будет оказывать обратное влияние на состав и свойства цивилизаций Галактики. Культурное поле превращается в единый надцивилизационный объект, эволюционирующий по собственным законам. Фактически речь идет о следующем за социальным, качественно более высоким, уровне организации материи. В этом качестве галактическое культурное поле обладает мно-

гими интересными свойствами, которые мы подробно обсуждали в работе [63]. Заинтересованного читателя за деталями отсылаем к этой статье.

Хотелось бы обратить внимание, что становление культурного поля очень напоминает по своей сути то, что В. А. Лефевр назвал «Большой коррекцией» [64]. Речь идет о согласованных действиях многих разумных «космических субъектов» для улучшения условий развития жизни и разума во Вселенной. В. А. Лефевр рассматривал ситуацию, когда космические субъекты не имеют возможности непосредственно договориться между собой для проведения этой работы, и вынуждены действовать на основе морального императива в надежде, что и другие поступают так же. Описанный выше сценарий поведения постсингулярных цивилизаций почти буквально соответствует этой идее. Создание культурного поля является вариантом Большой коррекции, так как следствием его возникновения является существенное улучшение условий существования для будущих космических цивилизаций.

Модель культурного поля предсказывает, что типичная космическая передача одной КЦ должна содержать ретранслированную информацию многих — возможно, миллионов — цивилизаций. Такого рода передача уже не может быть чем-то единым, это должна быть сложная и разветвленная информационная система. Термин «передача» оказывается неадекватным. Более подходящим является, например, *экзобанк знаний*. Передача столь огромного количества информации с использованием модулированного лазерного луча или широкополосного но узконаправленного радиосигнала не является неразрешимой технической проблемой для цивилизации, располагающей не более чем планетарными энергетическими ресурсами.

Нетрудно представить себе возможный характер информации в экзобанках знаний. Очевидно, экзобанки знаний в основном адресованы от постсингулярных цивилизаций другим постсингулярным цивилизациям, которые уже столкнулись с проблемой информационного кризиса (так как только такие КЦ являются коммуникативными в сильном смысле и могут найти партнера по контакту). Поэтому фундаментальные науки вроде физики, математики, астрономии должны быть не самым интересным в экзобанках, так как постсингулярные цивилизации, находящиеся в состоянии, близком к насыщению научного метода, должны обладать примерно одинаковыми знаниями в области фундаментальных естественных наук. Этот уровень знаний соответствует моменту, когда возможности классического научного метода приближаются к своим пределам, как это было описано в разделе 5.4. Конечно, некоторая специфическая информация фундаментального характера может представлять интерес, например, параллаксы квазаров и далеких галактик, на что указывал В. С. Лебедев¹⁴. Однако скорее, информация, относящаяся к области фундаментальных наук, будет играть вспомогательную роль, являясь основой для конвергенции мышления различных разумов, с чего должна начинаться дешифровка данных экзобанка. Наиболее интересной и важной частью знаний должно быть то, что у всех разное: биология, история, социология, литература, искусство, религия в конце концов. Поэтому следует ожидать, что большая часть информации будет иметь «гуманитарный» характер. Количество же такой «гуманитарной» информации может быть фантастически большим, и именно это может дать пищу для функции познания вместо познания в форме естественных наук. Космотехнологи-

¹⁴В. С. Лебедев. Цивилизация: от колыбели до могилы. Доклад на конференции «Горизонты астрономии и проблема SETI», САО РАН, Нижний Архыз, 25-30 сентября 2005 года.

ческую цивилизацию, стабилизировавшую свое существование за счет переработки внешней информации преимущественно гуманитарного характера, будем называть *экзогуманитарной цивилизацией*.

Выводы, к которым мы здесь приходим, очень близки к идее, высказанной Филлипом Моррисоном на Бюронканской конференции по проблеме SETI в 1971 г.: «Большая часть этого весьма сложного сигнала будет, на мой взгляд, касаться в основном не естественных наук и математики, а того, что мы бы назвали искусством и историей. Для меня это ясно из комбинаторных соображений, ибо наше общество или любое другое долгоживущее общество разрешит много естественно-научных и математических проблем более легкими путями, чем посредством изучения записи межзвездных сообщений» [35, С. 311].

Похожие идеи высказывал Викторий Шварцман [62]: «Общепринятая среди физиков точка зрения, согласно которой внеземной интеллект должен передавать “младшим собратьям” фрагменты своего научного знания, кажется очень спорной». Он отмечает, что гораздо более важной может оказаться информация, относящаяся к сфере искусства и играм. Эту точку зрения он обосновывает в основном двумя положениями. Во-первых, научная информация образует единое логическое целое, и при утере части этой логической цепи будет утеряно и целое. То есть, научная информация трудна для дешифровки и понимания. В то же время информация искусства значительно более устойчива к утрате фрагментов — сохранившиеся части по-прежнему сохраняют определенную целостность и ценность. Правила логических игр очень просты и компактны, их легко передать, и в то же время они содержат огромную информацию о невообразимом числе потенциально возможных партий. Во-вторых, искусство и игры говорят гораздо больше о создавшем их интеллекте чем надличностная научная информация или даже просто данные нейрофизиологии.

Надо заметить, что в настоящей работе путь к этому же выводу отличен от аргументации как Моррисона, так и Шварцмана. В то время как Моррисон и Шварцман считают, что основная причина заключена в сложности понимания межзвездных сообщений научного характера, наша идея состоит в том, что сами межзвездные сообщения станут доступными для изучения не раньше (или возможно, насущная потребность в их изучении возникнет не раньше), чем будет решено большинство проблем, которые вообще можно решить с помощью классического научного метода. Однако наш второй мотив, согласно которому «гуманитарная» информация может оказаться просто много важнее научной, имеет много общего с идеями Шварцмана, хотя и не повторяет их буквально.

Но и замечание Моррисона и Шварцмана о сложности получения информации из межзвездного сообщения очень важно. В нашей терминологии, речь идет о проблеме понимания информации экзобанков знаний. Конечно, трудно рассуждать на эту тему, не имея под рукой ни одного примера такого экзобанка, но можно высказать некоторые правдоподобные гипотезы.

Следует ожидать, что в экзобанке будет одно или несколько корневых сообщений, содержащих сигнал привлечения внимания и инструкцию по дальнейшему поиску информации. Эта часть экзобанка должна легко дешифроваться (например, на основе конвергенции к естественно-научным или математическим понятиям). Но при дальнейшем продвижении вглубь экзобанка трудности встретятся наверняка.

Здесь надо вспомнить работы Б. Н. Пановкина о трудности взаимопонимания различных космических цивилизаций [65]. Пановкин ставил задачу о взаимопонимании как задачу об установлении соответствия между системами понятий этих цивилизаций (тезаурусами), и показал, что эта задача, вообще говоря, даже для двустороннего контакта не является алгоритмически разрешимой. Однако, по нашему мнению, этот результат не означает, что понимание невозможно. Он означает лишь, что процесс понимания должен носить существенно неалгоритмический характер. Однако человек способен на то, что недоступно конечному автомату, и главной такой способностью является способность к внелогической догадке, озарению.

На начальном этапе изучения материалов экзобанка соответствие между тезаурусами различных КЦ может вообще отсутствовать (кроме очень узкой области конвергенции к простым математическим или естественно-научным понятиям). Но такое соответствие может выстраиваться постепенно по мере изучения экзобанка в цикле «концептуальная модель — проверка». Предлагаются модели понимания некоторых фрагментов экзобанка, затем эти модели испытываются на других материалах экзобанка. Если модель выдерживает испытание, она принимается, и используется при построении новых, более тонких моделей, если нет — отбрасывается. Неалгоритмическим элементом этого процесса является порождение новых моделей — здесь как раз не обойтись без догадки и озарения. Понимание, достигаемое на этом пути, никогда не будет окончательным, но всегда будет носить модельный характер.

Трудно не заметить, что этот циклический процесс очень напоминает стандартный цикл классического научного метода «гипотеза — опыт». Даже модельный характер понимания информации экзобанка весьма напоминает характер понимания законов природы, достигаемый в научном методе. Поэтому процесс понимания экзобанка можно назвать «экзонаукой». Таким образом, после информационного кризиса лидерство в методах познания может перейти от науки к экзонауке.

Экзонаука не является просто разновидностью науки. Это можно установить по чисто формальным признакам. Прежде всего это касается критерия истинности или воспроизводимости. В экзонауке понятие истинности оказывается двухуровневым: во-первых, насколько адекватны модели интерпретации информации, и, во-вторых, насколько истинна сама интерпретируемая информация. Если на первом уровне еще можно добиться чего-то напоминающего воспроизводимость результатов¹⁵, то на втором уровне это во многих случаях будет принципиально невозможно. В полученном знании неизбежным становится элемент веры. Кроме того, само получаемое знание относится не к естественной природе непосредственно, а либо исключительно к искусственно порожденной информации, либо к естественной природе, но опосредовано через искусственную информацию. Это настолько отличается от традиционного предмета естественных наук¹⁶, что здесь также можно говорить о качественном своеобразии экзонауки, хотя это отличие имеет менее формальный характер, чем в случае критерия истинности.

Подчеркнем, что сама возможность длительного процесса получения знаний методом экзонауки не менее важна, чем содержимое получаемых знаний. Процесс экзонаучного познания может растянуться на многие тысячелетия, но ведь именно это и

¹⁵Требуется еще большая работа для уточнения этого понятия в данном контексте.

¹⁶За исключением филологии и, отчасти, истории. «Хорошую» филологию и историю, приводящую к воспроизводимым результатам, автор причисляет к естественным наукам.

требуется для поддержания гомеостаза цивилизации в постсингулярной интенсивной фазе развития. Трудно сказать, как и когда исчерпается процесс экзонаучного познания (ведь и это должно когда-то произойти).

5.7 Заключительные замечания

Ответ на первый вопрос, поставленный в начале раздела 5.1, звучит следующим образом: партнер по SETI-контакту может представлять собой постсингулярную экzogуманистическую и экzogуманитарную цивилизацию, являющуюся одним из носителей надцивилизационного объекта — галактического культурного поля (раздел 5.6). Характерными чертами экzogуманитарной цивилизации должны быть моральные императивы экzogуманизма (раздел 5.2) и, по всей видимости, депрессивное состояние исследований классическим научным методом (раздел 5.4). Состояние такой цивилизации является коммуникативным в сильном смысле (раздел 5.5). Не будет большим преувеличением сказать, что устанавливая контакт с такой цивилизацией, мы устанавливаем контакт со всем культурным полем, и сами становимся одним из его носителей.

Хотя мы тщательно избегали произвольных гипотез, использованный в анализе подход — это сценарный подход. Предложенный в статье сценарий может оказаться более или менее правдоподобным или совсем неверным. Кризисные явления в науке могут быть более мягкими, чем это предполагалось, но они могут протекать на фоне других кризисов, что не учитывалось. Стратегия преодоления кризисных явлений, основанная на решении проблемы SETI, может комбинироваться со стратегией создания искусственного интеллекта или чем-то еще и т. д. Возможен также вариант, что использование одной стратегии исключает другие, поэтому по способу преодоления информационного кризиса цивилизации могут делиться на несколько типов: кибернетические, коммуникативные, какие-то другие. Даже если предложенный сценарий верен в основном, то возможны редкие сильные отклонения от него. Так например, если случайно две цивилизации окажутся расположенными очень близко друг от друга, то контакт может быть установлен не в постсингулярной фазе развития, когда будет достигнута сильная коммуникативность, а значительно раньше. В этом случае исключительное значение может приобрести проблема космического транспорта, а механизм торможения космической экспансии (раздел 5.3) может не сработать. Такие цивилизации вполне могут пойти по пути создания суперцивилизаций с масштабной астроинженерной деятельностью, как это предполагается, например, в работах [61, 55]. Может быть, галактическое культурное поле, которое создают экzogуманитарные цивилизации, является всего лишь своеобразным «инкубатором» для суперцивилизаций, и является лишь одной из фаз в развитии разума. Все это означает, что стратегия поиска остронаправленных сигналов, характерных для культурного поля, и стратегия поиска «космических чудес», характерных для суперцивилизаций, должны реализовываться параллельно.

В заключение я хотел бы выразить благодарность всем моим многочисленным коллегам и друзьям, кто принял участие в обсуждении материалов, представленных в этой работе, и без внимания и поддержки которых она вряд ли когда-нибудь появилась бы. Я особенно признателен Л. М. Гиндилису, В. В. Казютинскому, А. В. Маркову, А. П. Назаретяну, У. Новотному, О. М. Теняковой и Л. В. Фесенковой.

Приложение. Теория Крейфелдта-Гиндилиса как специальный случай общей линейной теории

Для того, чтобы не перегружать изложение техническими деталями, покажем только, как из линейной теории динамики популяции КЦ настоящей работы может быть получен простейший вариант теории Крейфелдта-Гиндилиса, а именно — первоначальный вариант самого Крейфелдта [38].

Начнем с некоторого преобразования записи формулы Крейфелдта-Гиндилиса (4). Перепишем формулу сначала так:

$$N_C^{\text{Kreinfeldt}}(T) = \int_0^T \tilde{R}_0(T - \tau) \pi(\tau) d\tau, \quad (50)$$

где $\pi(\tau)$ есть вероятность того, что подходящая звезда в возрасте τ находится в коммуникативной фазе (т. е. имеет около себя цивилизацию, находящуюся в коммуникативной фазе). Вероятность $\pi(\tau)$ дается выражением

$$\pi(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} [C_{T_0}(\tau) - C_{T_0}(\tau - \omega)] P_{LC}(\omega) d\omega. \quad (51)$$

Будем предполагать, что наша модельная функция $B(M, \tau)$ факторизована в виде (25). Тогда, очевидно,

$$C_{T_0}(\tau) = \int_0^\tau b(\tau) d\tau. \quad (52)$$

Предположим, что выполняется упрощающее предположение (26) для вероятности выживания коммуникативной фазы. Тогда нетрудно понять, что

$$P_{LC}(\omega) = \frac{d}{d\omega} (1 - L_C(\omega)). \quad (53)$$

С учетом того, что $P_{LC}(\omega) \equiv 0$ для $\omega < 0$ и $C_{T_0}(\tau - \omega) \equiv 0$ для $\omega > \tau$, выражение (51) может быть записано как

$$\pi(\tau) = C_{T_0}(\tau) - \int_0^\tau C_{T_0}(\tau - \omega) P_{LC}(\omega) d\omega. \quad (54)$$

Нетрудно показать, что

$$\int_0^\tau C_{T_0}(\tau - \omega) P_{LC}(\omega) d\omega = \int_0^\tau b(\omega) [1 - L_C(\tau - \omega)] d\omega. \quad (55)$$

Действительно, обозначим интеграл в левой части равенства (55) через I_1 , в правой части равенства — через I_2 . Тогда, с учетом соотношений (52) и (53) легко получить

$$I_1 = \int_0^\tau d\omega \int_0^{\tau-\omega} d\xi b(\xi) P_{LC}(\omega) \quad (56)$$

$$I_2 = \int_0^\tau d\xi \int_0^{\tau-\xi} d\omega b(\xi) P_{LC}(\omega) \quad (57)$$

На основании выражений (56) и (57) легко убедиться, что I_1 и I_2 есть двойные интегралы от одной и той же функции $b(\xi) P_{LC}(\omega)$, взятые по одной и той же треугольной

области, только лишь порядок прохода этой области в выражениях (56) и (57) раз-
личный. Так как величина интеграла не зависит от порядка интегрирования, то
 $I_1 = I_2$, что и требовалось.

С использованием равенства (55) выражение (54) нетрудно преобразовать к виду

$$\pi(\tau) = \int_0^\tau d\omega b(\omega)L_C(\tau - \omega). \quad (58)$$

Подставляя (58) в (50), получаем новую запись формулы Крейфелдта-Гиндилиса:

$$N_C^{\text{Kreinfeldt}} = \int_0^T d\tau \tilde{R}_0(T - \tau) \int_0^\tau d\omega b(\omega)L_C(\tau - \omega). \quad (59)$$

Простая теория Крейфелдта не учитывает конечное время жизни звезд. В нашу
теорию конечное время жизни звезд входит в виде члена $L_S(M, \tau + \omega)$ в подинте-
гральное выражение в формуле (22). Для того, чтобы получить формулу Крейфел-
дта, следует положить

$$L_S(M, \tau + \omega) \equiv 1. \quad (60)$$

Будем подходящими звездами считать такие, которые имеют планету с подходящими
условиями для возникновения КЦ в смысле, использованном в настоящей статье. То-
гда, с учетом факторизации (25) полная скорость возникновения подходящих звезд
в момент времени $T - \tau - \omega$ может быть записана как

$$\tilde{R}_0(T - \tau - \omega) = \int_0^\infty R(M, T - \tau - \omega)\alpha(M) dM. \quad (61)$$

С учетом соотношений (60), (61) формула (22) принимает вид

$$N_C(T) = \int_0^T d\tau \int_0^{T-\tau} d\omega \tilde{R}_0(T - \tau - \omega)b(\tau)L_C(\omega). \quad (62)$$

Сравним выражения (59) и (62) для количества коммуникативных цивилизаций в
момент T .

Делаем в интеграле (62) замену переменных

$$\begin{aligned} \tau &\rightarrow \tau + \omega \\ \omega &\rightarrow \tau. \end{aligned} \quad (63)$$

Очевидно, якобиан преобразования (63) равен единице, поэтому подинтегральное
выражение в (62) приобретает вид

$$R_0(T - \tau)b(\omega)L_C(\tau - \omega). \quad (64)$$

Так как преобразование (63) линейное, то треугольная область интегрирования ин-
теграла (62) переходит в некоторую другую треугольную область. Легко убедиться,
что новая треугольная область интегрирования в точности совпадает с треугольной
областью интегрирования интеграла (59). Таким образом, после замены перемен-
ных (63) и подинтегральные выражения, и области интегрирования интегралов (59)
и (62) совпадают, поэтому и сами интегралы равны друг другу. Таким образом, фор-
мула Крейфелдта (4) получена как частный случай общей линейной формулы (22).

Список литературы

- [1] L. E. Orgel. The origin of life — How long did it take? *Origins Life Evol. Biosph.*, V. 28, P. 91–96, 1998.
- [2] B. Wood. Origin and evolution of the genus *homo*. *Nature*, V. 355, P. 783–790, 1992.
- [3] Graeme Donald Snooks. *The dynamic society. Exploring the source of global change*. Routledge, London and New York, 1996.
- [4] Graeme Donald Snooks. *The collapse of darwinism or the rise of a realist theory of life*. Lexington Books, 2003.
- [5] Акоп Р. Назаретян. Power and wisdom: Toward a history of social behavior. *Journal of the Theory of Social Behaviour*, V. 33(4), P. 405–425, 2003.
- [6] А. П. Назаретян. *Цивилизационные кризисы в контексте Универсальной истории. Издание второе, переработанное и дополненное*. Мир, Москва, 2004.
- [7] А. Д. Панов. Сингулярная точка истории. *Общественные науки и современность*, N1, P. 122–137, 2005.
- [8] Э. М. Галимов. *Феномен жизни: между равновесием и нелинейностью. Происхождение и принципы эволюции*. Едиториал УРСС, Москва, 2001.
- [9] Э. И. Колчинский. *Неокатастрофизм и селекционизм: Вечная дилемма или возможность синтеза?* Наука, Санкт Петербург, 2002.
- [10] И. М. Дьяконов. *Пути истории. От древнейшего человека до наших дней*. Восточная литература, Москва, 1994.
- [11] С. П. Капица. Феноменологическая теория роста населения Земли. *УФН*, Т. 166(1), С. 63–80, 1996.
- [12] Г. А. Заварзин. Становление системы биогеохимических циклов. *Палеонтологический журнал*, N6, С. 16–24, 2003.
- [13] М. А. Федонкин. Сужение геохимического базиса жизни и эвкариотизация биосферы: причинная связь. *Палеонтологический журнал*, N6, С. 33–40, 2003.
- [14] В. Н. Сергеев, Л. М. Герасименко, Г. А. Заварзин. Протерозойская история цианобактерий и их современное состояние. *Микробиология*, Т. 71(6), С. 725–740, 2002.
- [15] А. Ю. Розанов. Ископаемые бактерии, седиментогенез и ранние стадии эволюции биосферы. *Палеонтологический журнал*, N6, С. 41–49, 2003.
- [16] Р. Кэррол. *Палеонтология и эволюция позвоночных. Т1*. Мир, Москва, 1992.
- [17] А. В. Марков. Новый подход к моделированию динамики разнообразия фанерозойской биоты. *Журнал общей биологии*, Т. 62(6), С. 460–471, 2001.

- [18] Р. Кэррол. *Палеонтология и эволюция позвоночных. Т2.* Мир, Москва, 1993.
- [19] Р. Кэррол. *Палеонтология и эволюция позвоночных. Т3.* Мир, Москва, 1993.
- [20] Д. Биган. Планета человекообразных. *В мире науки*, N11, С. 68–77, 2004.
- [21] П. И. Борисковский. Олдовой. В кн.: *БСЭ, Т. 18*, С. 369. Советская энциклопедия, Москва, 1974.
- [22] Шелльская культура. В кн.: *БСЭ, Т. 29*, С. 377. Советская энциклопедия, Москва, 1978.
- [23] Ашельская культура. В кн.: *БСЭ, Т. 2*, С. 471. Советская энциклопедия, Москва, 1970.
- [24] Р. Фоули. *Еще один неповторимый вид.* Мир, Москва, 1990.
- [25] П. И. Борисковский. Мустьерская культура. В кн.: *БСЭ, Т. 17*, С. 134. Советская энциклопедия, Москва, 1974.
- [26] S. Jones, ред. *The Cambridge encyclopedia of Human Evolution.* Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1994.
- [27] К. Ясперс. *Смысл и назначение истории.* Политиздат, Москва, 1991.
- [28] В. А. Белавин, С. П. Капица, С. П. Курдюмов. Математическая модель глобальных демографических процессов с учетом пространственного распределения. *Журнал вычислительной математики и математической физики*, Т. 38(6), С. 885–902, 1998.
- [29] А. Е. Чучин-Русов. *Единое поле мировой культуры. Киэли-концепция. Кн. 1. Теория единого поля.* Прогресс-Традиция, Москва, 2002.
- [30] С. Н. Гринченко. Социальная метаэволюция человечества как последовательность шагов формирования механизмов его системной памяти. *Электронный журнал «Исследовано в России»*, zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2001/145.pdf, С. 1652–1681, 2001.
- [31] F. H. Crick, L. E. Orgel. Directed panspermia. *Icarus*, V. 19, P. 341–346, 1973.
- [32] D. S. McKay, E. K. Gibson, K. L. Thomas-Kepra, H. Vali, C. S. Romanek, S. L. Clemmet, X. D. F. Chiller, C. R. Maechling, R. N. Zare. Search for past life on Mars: Possible relic biogenic activity in martian meteorite ALH 84001. *Science*, V. 273, P. 924–930, 1996.
- [33] В. С. Троицкий. К вопросу о населенности Галактики. *Астрономический журнал*, Т. 58(5), С. 1121–1130, 1981.
- [34] Л. М. Гиндилис. *SETI: Поиск внеземного разума.* Физматлит, Москва, 2004.
- [35] С. А. Каплан, ред. *Проблема СЕТИ (Связь с внеземными цивилизациями).* Мир, Москва, 1975.

- [36] К. У. Аллен. *Астрофизические величины*. Мир, Москва, 1977.
- [37] Ф. А. Цицин. Космос и разумные существа. *Природа*, N11, С. 94–101, 1965.
- [38] J. G. Kreifeldt. A formulation for the number of communicative civilizations in the galaxy. *Icarus*, V. 14, P. 419–430, 1971.
- [39] Л. М. Гиндилис. К методике оценки числа цивилизаций в Галактике. В кн.: *Проблемы поиска внеземных цивилизаций*, С. 126–148. Наука, Москва, 1981.
- [40] В. Г. Сурдин. *Рождение звезд*. УРСС, Москва, 2001.
- [41] M. R. Meyer, F. C. Adams, L. A. Hillenbrandt, J. M. Carpenter, R. B. Larson. The stellar initial mass function: constraints from young clusters and theoretical perspectives. astro-ph/9902198, 1999.
- [42] В. А. Тварог. *ApJ*, V. 242, P. 242, 1980.
- [43] Н. Meusinger. *Ap&SS*, V. 182, P. 19, 1991.
- [44] Н. J. Rocha-Pinto, W. J. Maciel. History of the star formation in the local disk from the G dwarf metallicity distribution. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, V. 289(4), P. 882–888, 1997.
- [45] К. М. Lanzetta, N. Yahata, S. Pascarella, H.-W. Chen, A. Fernandez-Soto. The star formation rate intensity distribution—implications for the cosmic star formation rate history of the universe. astro-ph/0111129, 2001.
- [46] А. А. Сучков. Галактика. В кн.: *Физика космоса: маленькая энциклопедия. Издание второе.*, С. 63–75. Советская Энциклопедия, Москва, 1986.
- [47] Л. М. Гиндилис. Астросоциологический парадокс в проблеме SETI. В кн.: *Астрономия и современная картина мира*, С. 203. ИФРАН, Москва, 1997.
- [48] Умберто Эко. Когда на сцену приходит Другой. В кн.: *Пять эссе на темы этики*, С. 9–24. Symposium, Санкт-Петербург, 2002.
- [49] А. П. Назаретян. Насилие и терпимость: антропологическая ретроспектива. *Вопросы психологии*, N5, С. 37–50, 2005.
- [50] Л. М. Гиндилис. Внеземные цивилизации: век двадцатый. *Общественные науки и современность*, N1, P. 138–147, 2001.
- [51] Л. М. Гиндилис. Поиски внеземных цивилизаций — нужны ли они? *Культура и время*, N2, С. 174–183, 2003.
- [52] Л. М. Гиндилис. Модели цивилизаций в проблеме SETI. *Общественные науки и современность*, N1, С. 115–123, 2000.
- [53] Г. М. Идлис. Закономерности развития космических цивилизаций. В кн.: *Проблемы поиска внеземных цивилизаций*, С. 210–225. Наука, Москва, 1981.

- [54] В. И. Левантовский. *Транспортные космические системы*. Знание, Москва, 1976.
- [55] С. А. Каплан, Н. С. Кардашев. Астроинженерная деятельность и возможности ее обнаружения. В кн.: *Проблема поиска внеземных цивилизаций*, С. 45–55. Наука, 1981.
- [56] С. Лем. *Сумма технологий*. Terra Fantastica, Москва, Санкт-Петербург, 2002.
- [57] Дж. Хорган. *Конец науки. Взгляд на ограниченность знания на закате Века Науки*. Амфора/Эврика, Санкт-Петербург, 2001.
- [58] О. В. Крылов. Будет ли конец науки. *Российский химический журнал*, Т. 46(6), С. 96–106, 1999.
- [59] Л. В. Лесков. *Космические цивилизации: проблемы эволюции*. Знание, Москва, 1985.
- [60] В. М. Липунов. Научно открываемый Бог. *УФН*, Т. 171(10), С. 1155–1160, 2001.
- [61] Н. С. Кардашев. Стратегия и будущие проекты SETI. В кн.: *Проблема поиска внеземных цивилизаций*, С. 29–45. Наука, 1981.
- [62] В. Ф. Шварцман. Поиск внеземных цивилизаций — проблема астофизики или культуры в целом? В кн.: *Проблема поиска жизни во Вселенной*, С. 230–236. Наука, Москва, 1986.
- [63] А. Д. Панов. Разум как промежуточное звено эволюции материи и программа SETI. *Философские науки*, №9, С. 126–144, 2003.
- [64] В. А. Лефевр. *Космический субъект*. Ин-квартио, Москва, 1996.
- [65] Б. Н. Пановкин. Информационный обмен между различными высокоорганизованными системами. В кн.: *Проблемы поиска внеземных цивилизаций*, С. 186–196. Наука, Москва, 1981.